

**KURÜBUNGSWEGE IM GEBIRGE:
LEISTUNGSANFORDERUNGEN / TRAININGSWIRKSAMKEIT**

URSULA DEMPf

1986



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554610_0048

Aus dem Institut für med. Balneologie und Klimatologie
der Universität München

Vorstand: Prof. Dr. med. H. Drexel

KURÜBUNGSWEGE IM GEBIRGE:
LEISTUNGSANFORDERUNGEN/TRAININGSWIRKSAMKEIT

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Ursula Dempf

aus

München

1986

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. H. Drexel

Mitberichterstatter: Prof. Dr. med. E. Erdmann
Prof. Dr. med. H. Goerke

Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter: Dipl.-Phys. K. Dirnagl

Dekan: Prof. Dr. med. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 30. Juli 1986

Meinen Eltern
In Dankbarkeit gewidmet

<u>1. Einleitung</u>	1
<u>2. Fragestellung und Zielsetzung</u>	1
<u>4. Literaturübersicht und Grundlagen</u>	2
<u>5. Methodik</u>	9
Klinische Betreuung der Testpersonen	9
Auswahl der Testpersonen	10
Aufbau des Testprogramm	13
Fahrradergometrie	14
Terraintests	18
Gehen in der Ebene (Kramerplateauweg)	18
Gehen in alpinem Gelände (Kreuzwanklweg)	20
Bergschritt	21
Indirekte Energieumsatzbestimmungen	22
Spiroergometrie	22
Douglassackverfahren am Kreuzwanklweg	24
Steptest	27
(Vergleich der kardialen Reaktion im Tal und in der Höhe)	
Auswertung	28
Daten	28
Ermittelte Leistung für die Kurterrainübungswege	29

<u>5. Ergebnisse</u>	32
Gemeinsame Legende	32
Ergebnisse der Fahrradergometrie	33
Abbruch der Fahrradergometrie	33
Ergebnisse der Probanden ohne und mit Herz- kreislaufmedikation	34
Ergebnisse der weiblichen und männlichen Probanden	38
Ergebnisse der Probanden im Alter von 20-40 Jahren im Alter von 41-60 Jahren im Alter von 61-80 Jahren	41
Ergebnisse der Terraintests	45
Gehen in der Ebene (Kramerplateauweg) Ermittelte Leistung	45 51
Gehen in alpinem Gelände (Kreuzwanklweg) Erste Begehung des Kreuzwanklwegs Wiederholungsgänge Kreuzwanklweg Zusammenstellung der berechneten Leistungsergebnisse	52 53 58 67
Ergebnisse der Spiroergometrie	68
Ergebnisse des Douglassackverfahrens	70
Steptest Ermittelte Leistung	73 75

<u>6. Diskussion</u>	76
6.1 Kritik der Methoden und Bewertungskriterien	76
6.2 Diskussion der Ergebnisse	81
Fahrradergometrie	81
Terraintests	86
Bergschritt	88
Leistungsparameter und Höhenunterschied	88
Steptest	90
Ermittelte Leistung nach vorgegebenen Gleichungen	90
Ermittelte Leistung nach entworfener Gleichung	90
Indirekte Umsatzbestimmung	93
<u>7. Folgerungen für den Ausbau von Übungsprogrammen</u>	95
8. Stufenplan zur Bewegungstherapie in Garmisch-Partenkirchen	95
<u>9. Zusammenfassung</u>	97
Anhang	99
<u>10. Literaturverzeichnis</u>	101

1. Einleitung

Therapie mit natürlichen und unschädlichen Mitteln durchzuführen, bedeutet eine Forderung, mit der sich die Ärzte zunehmend konfrontiert sehen. Unbestritten stellt das Bewegungstraining präventiven oder rehabilitativen Charakters eine derartige Therapieform dar (5). Es erlangte besonders bei der Behandlung kardialer Grunderkrankungen Bedeutung (6,8,10,23,35,36,37,49,50,64). In diesem Rahmen wird bevorzugt das Gehtraining auf dafür geeigneten Übungswegen befürwortet (4,11,22,27,28,29,39,40,41,42,53,75,85). Die konsequente Durchführung scheitert jedoch oftmals an der mangelnden Graduierung der Leistungsanforderung auf diesen Wegen und am Fehlen von Bezügen zur Belastungsuntersuchung des Patienten.

Die prognostische Beurteilung der Leistungsanforderung beim Gehen in alpinem Gelände, wie es sich z.B. bei einer Kurheilbehandlung in Garmisch-Partenkirchen anbietet, wird durch viele Faktoren erschwert: Wechselnde Steigungsgrade des Weges, veränderte psychische Einstellung zur Bewegungstherapie in alpiner Umgebung, unterschiedliche alpine Vorkenntnisse.

Die Ergebnisse dieser Arbeit sollen ein Modell erstellen, das es ermöglicht, den Patienten mit verschiedenen Grunderkrankungen gezielte Angaben über die Leistungsanforderung auf ausgewählten alpinen Wegen in Garmisch-Partenkirchen zu machen.

2. Fragestellung und Zielsetzung

2.1 Fragestellungen

- Welchen, durch Vergleich mit der Fahrradergometrie ermittelten Leistungswerten entsprechen die verschiedenen Übungswege?
Kramerplateauweg
Kreuzwanklweg
- Wird die geforderte Leistung durch Anwendung des Bergschrittes vermindert?
- Genügt die Bestimmung fahrradergometrisch gewonnener Leistungsdaten und deren Übertragung auf diesen Übungsweg?

- Ist die Spiroergometrie und die indirekte Energieumsatzbestimmung durch das Douglassackverfahren auf den Übungswegen eine exaktere Bestimmungsmethode der Belastbarkeit? Ist ihre Durchführung im Kurbetrieb praktikabel?
- Gibt es Hinweise auf eine veränderte kardiale Reaktion nach einer Bergbahnfahrt (Osterfelderbergbahn) mit einem Höhenunterschied von ca. 1300 m.
- Sind durch Bewegungstherapie im Sinne eines Gehtrainings Leistungsverbesserungen nachweisbar?

2.2 Zielsetzung

Entwurf eines Modells, das individuelle Prognosen der kardialen Belastungsanforderung an einem Patienten auf den Terrainübungswegen (Kramerplateauweg/Kreuzwanklweg) zuläßt.

3. Literaturübersicht und Grundlagen

Literaturübersicht:

Bis in das letzte Jahrhundert reichen Arbeiten zurück, die zum Thema "Terrainkur: Möglichkeit einer standardisierten Bewegungstherapie" angefertigt wurden.

OERTEL (60) hat die Wirksamkeit dieser Art von Bewegungstherapie erkannt, definiert und propagiert. Dem Anspruch der Patienten, innerhalb kurzer Zeit und mit möglichst wenig Eigenengagement geheilt zu werden, konnte diese Therapie nicht gerecht werden. Sie geriet schon bald in Vergessenheit.

BECKMANN (5) griff die Erfahrungen Oertels (60) Mitte dieses Jahrhunderts wieder auf. Modifiziert als "Ohlstädter Kur" (Bewegungstherapie im Terrain kombiniert mit physikalischen Anwendungen) nimmt sein Modell der Bewegungstherapie eine feste Stellung in modernen Kurkliniken ein.

Um allgemeine Anerkennung zu erlangen, war und ist es notwendig, die wissenschaftlichen Erkenntnisse über Belastungsuntersuchungen im allgemeinen zu berücksichtigen und spezielle Untersuchungen zu deren Übertragbarkeit auf Terraintests anzustellen.

KNIPPING und MONCRIEFF (46) sowie WAHLUND (84) waren Vorstreiter der methodischen Entwicklungen zur Anlage und Beurteilung von Belastungsuntersuchungen. Heute gibt es wichtige Grundlagenwerke von ASTRAND/ROHDAL (3), von MELLOROWICZ (58), und von ROST/HOLLMANN (69) zum Thema der Leistungsprüfung.

Das Interesse, die aktuelle Belastbarkeit des Patienten zu prüfen und die Ergebnisse auf Terrainübungswege zu übertragen, stieg im Rahmen der Frühmobilisation koronar-erkrankter Patienten erheblich an. So berichtet JUNG (41) über die Bemühungen der Kurkliniken in Ohlstadt, Eschenlohe und Gais, ihren Patienten (vorwiegend Postinfarktpatienten in der Rehabilitationsphase) die Grundlagen eines Herzkreislauftrainings theoretisch zu erklären und sie praktisch anzuwenden. Seine primäre Intention lag darin, den Patienten die Beurteilung ihres Pulsfrequenzverhaltens und damit der Erkennung gefährlicher Überbelastung während eines Terraintests zu lehren. 1980 veröffentlichte der gleiche Autor eine Arbeit, die die Aufgaben des Terraintests beschreibt (42).

Wichtige Ergebnisse lieferten Untersuchungen von HILLE, KIENLE, FEHLING (27), die das Verhalten der Herzfrequenz beim Gehen in freiem Gelände mit der Arbeit auf dem Fahrradergometer verglichen. Sie stellten fest, daß nur bei einer physikalisch äquivalenten Leistungsanforderung von 100 Watt beide Betätigungen als kardial gleichbelastend angesehen werden können. Für Leistungen über 100 Watt würde die Gesamtbelastung für den Körper auf dem Fahrradergometer höher als beim Gehen sein (27).

In Zusammenarbeit mit KRATOCHVIL und LANDT überprüften und vervollständigten HILLE und KIENLE (28) ihre Ergebnisse und konnten feststellen, daß beim Gehen bei gleichen Pulsfrequenzen höhere Stoffwechselumsätze gefunden werden als beim Radfahren.

Der Schluß, beim Gehen eine ökonomischere Herzarbeit durch verbesserte Schlagvolumennutzung gegenüber dem Radfahren anzunehmen, war für die Anwendung der Terrainübung bei koronar erkrankten Patienten von Bedeutung (50) und wurde in anschließenden Arbeiten (29) bestätigt.

BASSEY, MACDONALD und PATRICK (4) verdeutlichten den Einfluß von Körpergewicht, Größe, Alter und Geschlecht auf freizuwählende Gehgeschwindigkeiten im Terrain. Sie zogen daraus Schlußfolgerungen der unterschiedlichen Belastbarkeit der Probanden.

HOFMANN und LEINER (30) entwarfen Algorithmen, die Berechnungen der Belastung als Funktion von Geschwindigkeit und Steigung für Aufwärts- und Abwärtsgehen und Gehen in der Ebene ermöglichten. Dabei überarbeiteten und verfeinerten sie die von SCHÖNEBERGER (30) und HILLE (29) entwickelten Formen zur Leistungsberechnung auf Terrainübungswegen

HUBER (39) und M. HAAS (21) wandten diese Algorithmen zur Beurteilung der Leistungsanforderung auf verschiedenen Terrainübungswegen in Bayersolen und Garmisch-Partenkirchen an. Sie konnten zeigen, daß individuelle Faktoren (Alter, Geschlecht, Klima, Gesundheitszustand), die nicht in jenen Formeln berücksichtigt werden, bedeutenden Einfluß auf die prognostische Beurteilbarkeit der Leistungsanforderungen auf Terrainübungswegen haben. Eine praxisorientierte Einschätzung der Belastbarkeit auf dem Fahrradergometer sowie die Übertragung auf Terrainübungswege sollte die individuellen Merkmale der Patienten berücksichtigen.

Physikalische Grundlagen:

Die ergometrische Leistung in Watt dient als Bezugsmaß für elektrokardiografische, spirometrische sowie terraintherapeutische Befunde.

Es gilt: $\text{Leistung} = \text{Arbeit} / \text{Zeit} = \text{Geschwindigkeit} \times \text{Kraft}$
Einheit: (Watt) = (J/s)

$$1 \text{ mkp/s} = \text{ca. } 10 \text{ Watt} = 10 \text{ J/s}$$

Bei einer verlustfreien Umwandlung (Wirkungsgrad 100%) chemischer in mechanische Energie oder umgekehrt gilt:

$$1 \text{ cal/s} = 4.18 \text{ Watt}$$

$$1 \text{ Watt} = 0.24 \text{ cal/s}$$

Die Kenntnis der physikalischen Zusammenhänge geht nur als Teilfaktor in die rechnerische Bewertung von Leistungen im täglichen Leben ein (z.B. Erstelgen eines Berges, Steptest). Die vom Organismus als Stoffwechselrate aufzubringende Leistung ist wegen des weit unter 100% liegenden Wirkungsgrades wesentlich größer, außerdem erfordert auch die isometrische Kraftentwicklung einen Stoffwechselumsatz, obwohl dabei keine physikalische Leistung erbracht wird.

Leistung, Herzfrequenz, O₂-Aufnahme

Der proportionale Zusammenhang zwischen Pulsfrequenz und Sauerstoffaufnahme kann als Gerade dargestellt werden. Die Steilheit der Geraden wurde erstmals von MÜLLER (31) als Leistungspulsindex (LPI) bezeichnet. Beeinflußt wird sie vor allem durch Alter und Geschlecht, sieht man von pharmakologischen Modifikationen ab.

Während sich die Pulsfrequenz bei dynamischer Arbeit, konstanten Wirkungsgrad vorausgesetzt, sowohl zur Sauerstoffaufnahme als zur erbrachten Leistung proportional verhält, ist die Proportionalität bei unterschiedlichem Wirkungsgrad nur für die Pulsfrequenz zur Sauerstoffaufnahme gegeben. Es ist anzumerken, daß der Leistungspulsindex vom Trainingszustand, der Lufttemperatur, dem Luftdruck, der Luftfeuchtigkeit und der Tageszeit beeinflußt wird (73).

Physiologische Grundlagen:

Energiebereitstellung

Leistung wird durch drei Arten der Energiebereitstellung ermöglicht:

1. anaerob-alkalisch:

(energiereiches Phosphat wird verbraucht, erst dann setzen energienachliefernde Vorgänge ein; spielt nur zu Beginn der Belastung eine Rolle; Dauer 5 - 8 s).

2. anaerob-laktisch:

(durch Laktatbildung wird der Differenzbetrag gedeckt, der auftritt, wenn der aktuelle Energiebedarf die Resynthese von ATP bzw. Kreatininphosphat übersteigt; tritt vor allem bei Belastungen ein, die über längere Zeit mit mindestens 50% der möglichen Maximalkraft durchgehalten werden müssen.)

3. aerob:

Energiebereitstellung durch Verbrennungsvorgänge (günstig, jedoch begrenzt durch die Trägheit der Transportsysteme des Gaststoffwechsels - kardiopulmonales System -) (70).

Physiologische Leistungsbereitschaft

Sie ist, gleiche Leistungsanforderung vorausgesetzt, abhängig von z.B.

1. Trainingszustand
2. Geschlecht
3. Alter

Blutdruck und Pulsfrequenzverhalten bei Belastung

Während einer Belastung tritt eine Erhöhung des Blutdrucks auf, verursacht durch die Verstellung des arteriellen Reglerniveaus (70). Neben einem deutlichen Anstieg des systolischen Blutdruckwertes wird in der Regel ein geringerer Anstieg des diastolischen Wertes beobachtet. In den gemessenen Blutdruck gehen Gefäßwiderstand und HMV ein.

$$HMV = SV \times HF$$

Herzminutenvolumen = Schlagvolumen x Herzfrequenz

Wechselnden Leistungsanforderungen des Gesamtorganismus kann das Herz durch Anpassung des HMV (Variationen von HF und SV) nachkommen.

Bei Erhöhung der Pulsfrequenz wird die diastolische Dauer und damit die koronare Durchblutung vermindert. Pathologisch erhöhte diastolische Wandspannung kann einen hemmenden Einfluß auf die Koronardurchblutung haben und damit die Sauerstoffversorgung des Myokards gefährden.

Grundlagen zur indirekten Bestimmung des Energieumsatzes

Die Bestimmung des Energieumsatzes beruht auf der Messung der vom Organismus über die Lungen aufgenommene und von den Geweben utilisierte Sauerstoffmenge, aus der sich der Energieumsatz berechnen läßt.

Offene Spirographie

Der Proband atmet über ein Mundstück, an das ein Atemstromrezeptor angeschlossen ist, Raumluft bei verschlossener Nase ein. Der elektronisch integrierte Atemstromverlauf dient zur Ermittlung der Atemvolumina. Aus der Expirationsluft werden Gasproben entnommen und auf O_2 - und CO_2 -Gehalt analysiert. Die Berechnung der Sauerstoffaufnahme erfolgt aus der Differenz des O_2 -Gehaltes von Inspirations- und Expirationsluft und Multiplikation mit dem zugehörigen Atemzeitvolumen (73) (Berechnung s. S. 26).

Bei der Durchführung eines Belastungstests am Fahrradergometer gilt nach ROST (70): die Mehrleistung von 1 Watt am Fahrradergometer erfordert eine Sauerstoffmehraufnahme von 12 ml/min.

$$VO_2(\text{ml/min}) = 300 (\text{mittlerer Ruheumsatz}) + 12 \times \text{Watt}$$

Nach MATTHYS (57) gilt:

$$VO_2(\text{ml/min}) = 586 + 7.65 \times \text{Watt}$$

(ermittelt an 35 gesunden Männern
zwischen 20 und 60 Jahren)

Für die Beziehung zwischen Sauerstoffverbrauch und Energieumsatz, die eigentlich vom respiratorischen Quotienten abhängt, nimmt man vereinfachend gewöhnlich an:

$$200 \text{ ml Sauerstoffverbrauch} = 1 \text{ kcal}$$

Der Wirkungsgrad ist definiert als

$$\frac{\text{erbrachte mechanische Leistung}}{\text{aufgewandte Energie}} \times 100 (\%)$$

Die Berechnung der erbrachten Leistung im Falle isotoner (Kraft = 0) oder isometrischer (Weg = 0) Belastung ergibt 0. Laufen in der Ebene würde danach z.B. keine Leistung erfordern, obwohl durchaus ein z.B. am Sauerstoffverbrauch meßbarer Energieumsatz stattfindet.

Kann bei der Belastung am Fahrradergometer von einer zumindest intraindividuellen Konstanz des Wirkungsgrades ausgegangen werden, so gilt dies nicht für kompliziertere Belastungsformen (z.B. Laufbandtest). Eine Verbesserung des Wirkungsgrades um 10-15% bzw. eine Abnahme der Sauerstoffaufnahme für gleiche Laufgeschwindigkeit ist bei wiederholtem Laufbandtest durchaus möglich (32).

Douglassackverfahren

Die Berechnung der Leistung (Watt) kann nach ROST (70) auf der Basis eines Sauerstoffbedarfs von 1000 ml und den Mehrbedarf von 12ml/mln O₂ pro zu leistendem Watt erfolgen.

Das Vorliegen spiroergometrischer Leistungsdaten ermöglicht durch Übertragung des ermittelten Sauerstoffverbrauchs auf den einzelnen Wegstrecken des Kreuzwankwegs das Ablesen der physikalischen Leistung.

Algorithmen zur Berechnung der Belastung beim Aufwärtsgen und Gehen in der Ebene

Zur Berechnung der Belastung am Laufband entwarf SCHÖNEBERGER (30) eine Formel, die für das Bergaufgehen, nicht jedoch für das Gehen in der Ebene anwendbar ist.

Leistung (Watt) = $271.81 \times v(\text{km/h}) \times \text{Steigung} (\sin a)$

HOFMANN und LEINER (30) definierten für die Belastung beim Aufwärtsgen

Leistung (Watt) = $187.07 (v (\text{km/h}) \times \sin a) + 10.66$

für das Gehen in der Ebene

Leistung (Watt) = $16.47 \times v (\text{km/h}) - 11.24$

Sowohl JUNG (42) als auch HILLE (29) versuchten den Einfluß des Körpergewichts zu berücksichtigen.

JUNG (42) berechnete die Leistung für unterschiedliche Steigungen wie folgt:

$$\text{Leistung(Watt)} = \frac{\text{Höhendifferenz (m)} \times \text{Körpergewicht (kg)}}{\text{Gehzeit (s)}} \times 10$$

Die Formel nach HILLE (27) lautet:

Leistung(Watt) = $187.07 (v (\text{km/h}) \times \sin a) \times \text{kg}/70 + 10.66$

4. Methodik

Klinische Betreuung der Testpersonen

Die Fachklinik Dr. Beger in Garmisch-Partenkirchen unter der ärztlichen Leitung von Frau Dr.med. Ute Vogel bietet den verschiedenen Patientengruppen eine medizinische Betreuung im Sinne der Prävention und Rehabilitation. 72 Betten stehen zur stationären Heilbehandlung von Erkrankungen des rheumatischen Formenkreises, des Bewegungsapparates und des Herz-Kreislauf-Systems zur Verfügung. Nur ein Teil der Patienten kann an dem angebotenen Kurprogramm aktiv teilnehmen. Etwa 20% der Kurpatienten wird nach vorausgegangenen Operationen des Bewegungsapparates (z.B. TEP) aus der nahegelegenen Klinik von Prof. Dr. med. F. Lechner zur Nachsorge überwiesen, um hier die notwendigen Rehabilitationsmaßnahmen durchzuführen.

Den Patienten stehen folgende physikalische Anwendungen als Therapie zur Verfügung:

- a. Krankengymnastik im Trockenen,
Krankengymnastik im Bewegungsbad (34 oder 28 Grad C)
- b. Massagen (klassische Massagen, Bindegewebsmassagen),
- c. Hydrotherapie,
- d. Druckwellenbäder (Unterwasser- und Druckstrahlmassagen),
- e. Peloidtherapie
Hochmoorströmungsbad, Moorschlammbad, Moor-,
Kreide-, Kältepackungen
- f. Elektrotherapie
Gleichstrom (u.a. Stangerbad)
niederfrequente Stromformen, Diathermie, Ultraschalltherapie sowie elektromagnetische Feldtherapie (Lechner, Krauss)
- g. Inhalationen (mit Sole oder Medikamenten)

Tab.1: Verordnete physikalische Anwendungen,
wie folgt auf 68 am Übungsprogramm beteiligte
Patienten verteilt:

VERORDNUNGEN wöchentl.	5x	4x	3x	2x
Moorbad	6		15	12
Moorpackung			2	
Bewegungsbad	36		3	3
Druckwellenbad	6		10	19
Wannenbad mit Zusatz	3			
Rückenmassage	2	3	42	1
Sauna	3			
Gruppengymnastik				16

Auswahl der Testpersonen

In Zusammenarbeit mit der leitenden Ärztin der Kurklinik Frau Dr.Vogel wurden die Testpersonen ausgewählt. Nach einer allgemeinen Aufnahmeuntersuchung ermittelten wir jene Patienten, die das Testprogramm ohne medizinische Bedenken absolvieren konnten.

Tab.2: Zusammenstellung der Einweisungsdiagnosen

Herz- und Kreis- lauferkrankungen		orthopädische Erkrankungen		andere Erkrankungen	
Hypertonus	15	Myalgie	10	Dystonie mit	
KHK	17	Chondropathie	2	depr.Störg.	5
Hypotonus	7	Z.n.Bandscheiben-	1	Urolog.Erkr.	4
Herzrhythmus- störungen	2	operation		Rekto-abdom.	3
Z.n.Herzinfarkt	1	Z.n.TEP	2	Erkrankg.	
funkt.Herzbe- schwerden	1			Gyn. Erkr.	1
periphere				Diabetes m.	2
Durchblutungs- störungen	2				

Tab.3: Anzahl der Diagnosen der Probanden

gesunde Probanden	16
eine Diagnose	28
zwei Diagnosen	16
drei Diagnosen	7

In die Auswahl kamen auch Patienten, die Beta-Blocker (Beloc mite, Dytide H, Minipress, Modenal, Nepresol, Presinol, Viskaldix), Antihypertonika (Briserlin mite, Docton, Prent, Visken, Tenormin) u.a. Pharmazeutika zur medikamentösen Therapie einnahmen.

Tab.4: Kardial wirksame Medikamente, die einzeln oder kombiniert von den Probanden eingenommen wurden, die in Gruppe M zusammengefaßt sind

<u>Medikament</u>	<u>Häufigkeit</u>
Antihypertensiva	12
Diuretika	3
Nitrate	5
Beta-Blocker	10
Digitalis	3

Im Einzelgespräch erklärten wir den Probanden das Testprogramm. Es bot den Kurpatienten die Möglichkeit, auch außerhalb des Klinikgeländes, das im Stadtkern von Garmisch-Partenkirchen liegt, unter Betreuung bewegungstherapeutisch tätig zu werden.

Alle vorgeschlagenen Patienten nahmen an dem Testprogramm teil. Innerhalb von 8 Wochen hatten diese 68 Personen zumindest einen der festgelegten Testwege begangen und einen Belastungstest am Fahrradergometer durchgeführt.

Nicht jeder Testperson war es möglich, das gesamte Testprogramm in jedem Punkt wenigstens einmal zu erfüllen.

Tab.5: Teilnahmehäufigkeit an den einzelnen Untersuchungen

Teilnahmehäufigkeit	1x	2x	3x	4x
Ergometrie vor Test	68			
Kramerplateauw.750m	68	12	2	
Kreuzwanklweg 1550m	60	57	8	6
Stepptest	63	5		
Ergometrie n. Test	58			

Um die Anzahl der Versuchspersonen zu erhöhen, wurden 17 Testpersonen zugelassen, die nicht Patienten der Klinik Dr. Beger waren.

Die Gesamtzahl der Patienten, die wenigstens an einem Terraintest teilgenommen hatten, ist mit 72 anzugeben. In die Auswertung wurden jedoch nur 68 Probanden einbezogen.

Ursache des Ausscheidens:

- Bei zwei Probanden lagen keine Ergebnisse der Belastungsergometrie vor.
- Zwei Probanden unterbrachen die Begehung des Kramerplateauwegs
(63jähriger Proband weibl.: Kreislaufbeschwerden
66jähriger Proband weibl.: akute Luftnot bei spastischer Bronchitis)

Tab.6: Zuordnung der Probanden zu Gruppen mit bestimmten Merkmalen (s. S. 32)

Gruppe	Anzahl	Größe/cm	Gewicht/kg	Alter/J
N	49	167.2	70.3	49.6
M	19	167.9	77.6	54.5
w	34	162.9	64.2	49.6
m	15	177.0	84.1	49.7
1	10	173.7	66.1	30.6
2	28	165.6	71.6	49.6
3	11	165.6	70.8	67.0

Aufbau des Testprogramms

Die geplanten Untersuchungen fanden in den Sommermonaten August und September 1982 statt. Während der Begehung der Kurwege wurden durch Schuh (München) klimatologische Daten festgehalten.

Um zu vermeiden, daß sich tagesperiodische Schwankungen bei Vergleichen störend auswirkten, absolvierten die Testpersonen die verschiedenen Programmpunkte im gleichen Zeitraum.

Zeitplan: 7.00 - 8.30 Uhr Fahrradergometrie
9.00 - 11.30 Uhr Kreuzwankweg
16.00 - 17.45 Uhr Kramerplateauweg
10.00 - 11.00 Uhr Steptest

Fahrradergometrie

Unter den verschiedenen Formen der nicht invasiven Belastungsmessung (u.a. Stufentest nach "Master", Laufbandtest) ist die Fahrradergometrie in Deutschland am weitesten verbreitet (70).

- Geräte:
- Stoppuhr
 - Kardiotachometer "Wilken 799 L"
 - EKG-Gerät "Cardioline ETA"
 - Fahrradergometer "Monark"
 - Blutdruckmanschette und Stethoskop
 - Defibrillator, Atemmaske, Atembeutel, Notfallmedikamente.

Die Probanden erschienen am Tage des Belastungstests nach einem leichten Frühstück in Sportbekleidung zur Fahrradergometrie.

Fahrradergometer

Es handelt sich um ein drehzahlabhängiges Fahrradergometer, bei dem der jeweilige Widerstand durch einen gewichtsbelasteten Schleifriemen vorgegeben ist. Im Gegensatz zu drehzahlunabhängigen Fahrradergometern ist die erbrachte Leistung von der Tretfrequenz abhängig. Durch mechanische Bremswirkung konnten die Belastungsstufen eingestellt werden. Die Eichung erfolgte mit einem speziellen Gerät. Ein Umdrehungszahlanzeiger ermöglichte den Patienten konstante Pedalumdrehungen von 50/min einzuhalten. Die am Monark-Ergometer geforderte Leistung des Probanden ergibt sich aus dem Widerstand mal der Drehzahl.

Belastungs-EKG

Die diagnostische Bedeutung des Belastungs-EKGs wurde u.a. durch ASCOOP et al. (1) belegt.

Es dient der Aufdeckung von EKG-Veränderungen.

- Nachweis koronarer Herzkrankheit,
- Feststellung des Schweregrades einer bekannten Grundkrankheit (z.B. Herzinfarkt),
- Aufdeckung von Rhythmusstörungen,
- Beurteilung der Belastbarkeit,

Die unter den verschiedenen Belastungsstufen gewonnenen EKG-Aufzeichnungen ermöglichten die Beurteilung der myokardialen Sauerstoffversorgung und damit auch der Belastbarkeit zur Auswahl und Dosierung der Trainingstherapie. Die Ableitungsformen entstanden durch die bipolare Extremitätenableitung nach Einthoven (I, II, III) und der unipolaren Brustwandableitung nach Wilson (V_1 - V_6).

Die pathologischen Veränderungen im Belastungs-EKG (meist V_4 - V_6) werden überwiegend durch eine Innenschichtischämie hervorgerufen.

Kriterium des pathologischen Belastungs-EKGs ist die horizontale oder descendierende ST-Streckensenkung um mehr als 0.1 mV in den Extremitätenableitungen oder 0.2 mV in den Brustwandableitungen.

Vorzeitiger Abbruch der Belastung

- gehobene ST-Strecke um mehr als 0.5mV, mehr als 20 ventrikuläre Extrasystolen/min,
- heftige Angina pectoris,
- Anstieg des systolischen Blutdrucks über 240 mmHg,
- Abfall des systolischen Blutdrucks um mehr als 20 mmHg,
- höhergradige AV-Überleitungsstörung,
- Vorhofflimmern.

Abbruchkriterien

- Angina pectoris (trotz normalen Belastungs-EKGs), starke Dyspnoe, Husten, starke Zyanose, Blässe, kalter Schweiß,
- muskuläre Erschöpfung, Schwindel, Kopfschmerz,
- Claudicatio intermittens,
- Auftreten von pathologischen Reizbildungs- und Reizleitungsstörungen,
- pathologische ST-Senkung und T-Inversion (androme Stenokardien),
- ST-Elevation,
- Blutdruckanstieg bis 250 mmHg (bei älteren Patienten bis 220 mmHg oder progredientem RR-Abfall.
- extremer Pulsanstieg, Auftreten einer Bradykardie.

Im Rahmen unserer Untersuchungen mußte die Belastungsergometrie bei einem Probanden wegen Auftretens von mehr als 15 ventrikulären Extrasystolen/min bei 50 Watt, bei zwei Probanden aufgrund starker Dyspnoe bei 25 Watt und bei einem Probanden aufgrund starker Dyspnoe bei 50 Watt abgebrochen werden.

Herzfrequenzmessungen

Durch den Anschluß eines Kardiotachometers konnten die Herzfrequenzänderungen während der verschiedenen Belastungsstufen kontinuierlich beobachtet werden. Die beiden dazu benötigten S&U Einmalelektroden (Typ 888) wurden nach Vorschrift im 2.ICR rechts parasternal und im 5.ICR medio-clavicular fixiert.

Blutdruckmessung

Der Blutdruck wurde vor Beginn des Belastungstests und alle folgenden zweieinhalb Minuten nach der Indirekten Methode nach RIVA-ROCCI gemessen.

Die Manschette wurde bis auf eine Ausnahme rechts mit 7 cm Abstand proximal der Ellenbeuge angelegt. Die für den systolischen und diastolischen Druck charakteristischen Korotkoffgeräusche wurden mit einem Stethoskop über der A. brachialis abgehört. Um die Geräuschphänomene exakter bestimmen zu können, wurde das Stethoskop dem Verlauf der A. brachialis entsprechend, je nach Oberarmumfang etwa 3 - 5 cm proximal und medial dieser aufgesetzt.

Belastungstest

Kontraindikationen sind:

- manifeste Herzinsuffizienz,
- Angina pectoris gravis, crescendo Angina, Instabile Angina,
- frischer Herzinfarkt (6 Wo. zurückliegend, bei 2 Patienten der Fall),
- Lungenembolie, hochgradiges Cor pulmonale,
- ernste Rhythmusstörungen, V.a. salvenartige oder polytope Extrasystolen, ventrikuläre Tachykardie,
- maligne Hypertonie,
- Herzwandaneurysma, Aneurysma dissecans,
- Myokarditis, Perikarditis, Endokarditis,
- fieberhafter Infekt (bei 3 Patienten der Fall),
- Aortenstenose, Subaortenstenose,
- akute Thrombophlebitis,
- schwere allgemeine Arteriosklerose (bei 3 Patienten der Fall),
- schwere zerebrale Durchblutungsstörung.

Durchführung

Die Patienten ruhten nach der Höheneinstellung des Standfahrrades, dem Ankleben der Elektroden, dem Anschluß an das EKG-Gerät und Kardi tachometer 5 Minuten. Während der Ruhepause erfolgte die Aufzeichnung des Ruhe-EKGs (Papiervorschub 25mm/sec), der Ruhefrequenz und des Ruheblutdrucks. Die stufenweise Belastung wurde alle drei Minuten von 25 über 50 und 75 Watt gesteigert. Es folgte eine 3 minütige belastungsfreie Phase.

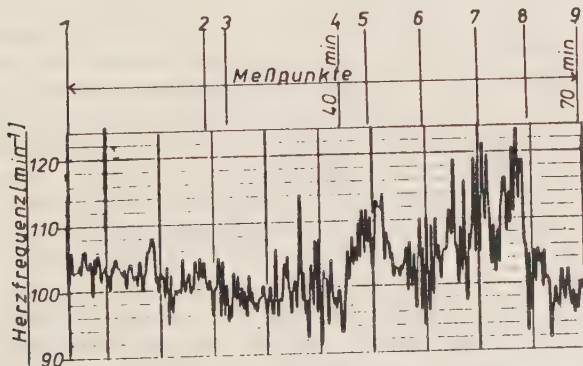
Die während der Ruhephase erhobenen Messungen wiederholten sich während der Belastung alle 2 1/2 min nach einer Belastungsänderung.

Vergleichende Messungen

Bei allen Begehungen wurde ein EKG-Speichergerät des Fabrikats "Oxford Medilog" von jeweils ein und demselben Probanden mitgeführt. Dadurch war es möglich, alle gewonnenen Messungen der Probanden mit diesen Daten zu vergleichen. Die S&U Einmalelektroden wurden im 2. ICR rechts parasternal und im 5. ICR links medioclavicular befestigt. Eine zusätzliche Nullelektrode ist bei diesem Gerät nicht erforderlich.

Die Auswertung dieser Ergebnisse würde den Rahmen dieser Arbeit überschreiten. Die Rohdaten sind jedoch im Institut für Balneologie und Klimatologie München-Großhadern jederzeit einsehbar.

Angeführt sei ein Beispiel zur Demonstration:
Pulsfrequenzaufzeichnung am Kramerplateauweg, Proband Nr.3
Datum 22.09.82, Uhrzeit 16.00 Uhr.



Vorbereitungen zum Terraintest

Meist nahmen zwei Probanden an der jeweiligen Begehung teil. Das Anlegen der Elektroden erfolgte in der Klinik. Erst am Startpunkt wurde das Kardiotachometer des Fabrikates "Wilken 799" angeschlossen.

Ausrüstung bei den Terraintests

1. Blutdruckmanschette und Stethoskop
2. elektronisches Metronom zur Einhaltung des Schrittempos
3. Notfallapotheke

Anfahrt zu den Terrainübungswegen

Die Patienten wurden mit einem von der Gemeinde Garmisch-Partenkirchen zur Verfügung gestellten Fahrzeug an die jeweiligen Startpunkte der verschiedenen Wege gebracht.

Während der Begehungen wurden die Probanden gebeten, jede Überforderung ihrer Leistungsgrenze zu melden.

Terraintests

Kramerplateauweg

Lage: Nur 10 Gehminuten von der Klinik entfernt liegt der Kramerplateauweg. Er umrandet bei abwechslungsreicher Vegetation auf einer Höhe von 780m die südliche Seite des Kramermassivs (1950m). Der Spaziergänger hat die Möglichkeit abseits von Straßenlärm und Stadtbetrieb, auf fast ebenem, befestigtem Weg 5 1/2 km zu wandern. Hier kann auch der nicht geübte Wanderer die beeindruckende Umgebung der Berge genießen. An sonnigen Tagen wurden die Probanden mit herrlichen Ausblicken auf das Zugspitz-, Wetterstein- und Karwendelmassiv für ihre Teilnahme an diesem Versuchsprogramm belohnt. Kein Zweifel, daß diese Umgebung zur Bewegungstherapie in freiem Gelände motiviert.

Für unsere Untersuchungen wählten wir ein Teilstück von etwa 2 km Länge aus. Die Messungen auf diesem Weg dienten gleichzeitig zur Begutachtung der Leistungsfähigkeit der Probanden.

Der Weg wurde von allen Probanden grundsätzlich vor der Begehung des Hausbergwegs und der Gondelfahrt zum Osterfelderkopf, immer nachmittags gegen 16 Uhr, begangen.

Begehung

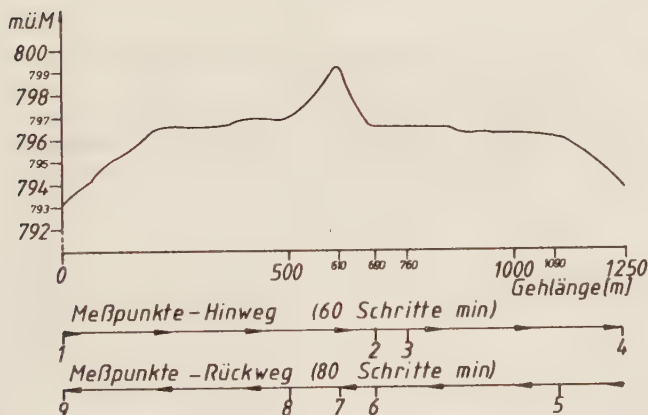
Abb.(1): Weg Nr. 1: Kramerplateauweg - Geländeprofil

Grundlage: Karte Nr.8532(17-19) Garmisch-Parten-

kirchen - photogrammetrische Auswertung

1:10000 - des Bayr. Landesvermessungsamtes)

In das Geländeprofil sind die Meßpunkte eingezeichnet.



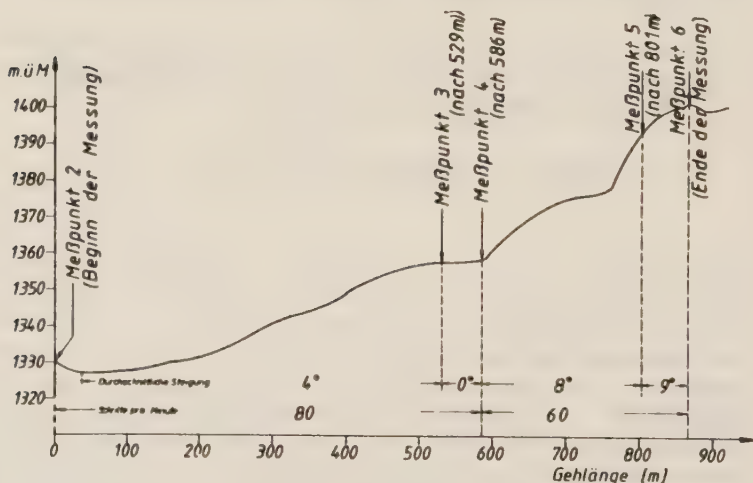
Insgesamt wurden 9 Herzfrequenzablesungen vom Kardiota-
chometer und zusätzlich je ein Blutdruckwert an den Meß-
punkten 1, 3, 4, 6 und 9 beim Passieren der festgelegten
Meßpunkte in die vorbereiteten Protokollblätter eingetra-
gen. Bei Erreichen der Meßpunkte wurden die Probanden zur
Ermittlung der Blutdruckwerte gebeten, im, durch das Me-
tronom vorgegebenen Schrittempo, am Platz weiterzutreten.
Diese Forderung war nötig, da die Blutdruckmessung während
des Gehens (zur Vermeidung eines Blutdruckabfalls durch
das Stehenbleiben und damit der Erhaltung eines Steady-
States) nicht, wie ursprünglich geplant, möglich war.

Das ausgewählte Wegstück gliederte sich in Messungen,
die auf dem Hinweg bei einem Schrittempo von 60/min und
auf dem Rückweg mit einem Schrittempo von 80/min unter-
nommen wurden. Der Rückweg auf einer anderen Strecke war
leider nicht möglich.

Kreuzwanklweg

Nach einer 7minütigen Gondelfahrt (von 730m - Talstation - auf 1330m - Bergstation) und einer Gehzeit von 2 min erreichten die Probanden den Start "Garmischer Haus" in 1330m Höhe. Der gut befestigte Weg Richtung Kreuzeck forderte von den Probanden die Bewältigung verschiedener Steigungsgrade. Dabei wurde das Wegstück von Meßpunkt 2-4 mit einem Schrittempo von 80/min, das steilere Wegstück von Meßpunkt 4-6 mit einem von 60/min begangen.

Abb.(2): Weg Nr.4: Kreuzwanklweg - Geländeprofil
Grundlage:Karte Nr.8532(14-16),Garmisch-Parten-
kirchen - photogrammetrische Auswertung
1:10000 - des Bayr. Landesvermessungsamtes
In das Geländeprofil sind die Meßpunkte eingezeichnet.



Da der Weg zum Großteil einer intensiven Sonneneinstrahlung ausgesetzt ist, wurden die Messungen um 9 Uhr morgens durchgeführt. Die Probanden genossen trotz der teilweise erheblichen Anstrengung den Blick auf das fast bei jeder Wetterlage wahrnehmbare Waxenstein- und das nur bei schönem Wetter in westlicher Richtung erkennbare Zugspitzmassiv sowie auf die in südlicher Richtung, nach einer Rechtsbiegung (Meßpunkt 4) des Weges zum Kreuzeck auftauchende Alpspitzmassiv.

Bei der ersten Begehung bewältigten die Probanden das Wegstück von Meßpunkt 4 bis Meßpunkt 6 (durchschnittliche Steigung 10%) bei vorgegebener Schrittgeschwindigkeit 60/min nach ihrem persönlichen Können.

Von 68 Probanden, die auf dem Kramerplateauweg ohne Schwierigkeiten spazierten, fielen für den Kreuzwanklweg 8 Probanden mangels körperlicher Leistungsfähigkeit und 6 aus anderen Gründen aus.

Bergschritt (Gehen in steilem Gelände)

Die Begehung des Wegstücks von Meßpunkt 4 - 6 strengte trotz der Gehgeschwindigkeit von nur 60 Schr/min viele Probanden an. Dabei wurden häufig Atemnot, Herzklopfen und ein Schwächegefühl in den Beinen beschrieben. Zusammen mit Herrn Prof. Maywald (Universität Würzburg) diskutierten wir die Erprobung des Bergschritts und beschlossen bei der zweiten und jeder weiteren Begehung des Kreuzwanklwegs durch eine geeignete Gehtechnik eine Reduktion der Leistungsanforderung nachzuweisen.

Bergerfahrenheit darf bei Patienten, die vorwiegend aus nicht alpinen Gegenden zur Kur nach Garmisch-Partenkirchen kamen, nicht vorausgesetzt werden. Dementsprechend unbeholfen und kräftezehrend war ihre Gehtechnik in steilerem Gelände.

Mit ihnen den Gang Alpingeübter einzuüben, ihn von Meßpunkt 4 bis 5 anzuwenden und die Ergebnisse mit der Erstbegehung zu vergleichen, war Ziel dieser Messungen.

Alpingeübte überwinden Steigungen durch ruhige, gleichmäßige Schritte. Arme und Rumpf werden sparsam mitbewegt, so daß der Körperschwerpunkt fast geradlinig nach oben wandert.

Durch fehlende Bewegung des Rumpfes steht die Muskelarbeit der Beine im Vordergrund. Die kontinuierliche An- und Entspannung der Muskulatur fördert die Wirkung der Muskelpumpe auf das Herzkreislaufsystem. So vergrößert sich der venöse Rückstrom, das Preload sowie das enddiastolische Füllungsvolumen und führt dadurch zu einer Verbesserung der koronaren Durchblutung. Der systolische Blutdruck steigt an, der diastolische fällt und die Herzfrequenz bleibt etwa gleich. Die Auswurfleistung steigt ebenfalls an.

Indirekte Energieumsatzbestimmungen

Nach der ersten Datenauswertung stellten wir fest, daß die ausgeführten Messungen für die Interpretation der Ergebnisse teilweise unzureichend waren. Die angewandte Methode der Leistungsberechnung wollten wir durch indirekte Umsatzbestimmung mit dem Douglassackverfahren, zumindest für den Kreuzwankweg, überprüfen. Aus zeitlichen Gründen mußte auf ein aufwendigeres Testprogramm verzichtet werden.

Ausgewählt wurden 5 Probanden, die alle den Kreuzwankweg kannten. Drei von Ihnen hatten am Testprogramm im Vorjahr teilgenommen.

Spiroergometrie

Sie diente zum Vergleich der Geländedaten mit bekannten Leistungstufen.

Geräte: - Blutdruckmanschette und Stethoskop
- Nasenklemme
- Oxycon
- Fahrradergometer

Aus organisatorischen Gründen war es nur am Abend möglich, im Institut für Physikalische Medizin (München-Großhadern) die über 25, 50 und 75 Watt gestelgerten ergometrischen Belastungstests an den Probanden durchzuführen. Der Ablauf der auf Seite 14 beschriebenen Fahrradergometrie wurde beibehalten. Zur Anwendung kam die spiroergometrische Untersuchung am offenen System. Bekannt ist die Sauerstoffkonzentration der einzuatmenden Außenluft.

Die ausgeatmete Luft wurde hinsichtlich ihres Volumens und ihrer Gaskonzentrationen untersucht (s. S. 26). Die gasanalytische Methode entspricht teilweise dem Douglassackverfahren, das am Kreuzwankweg angewandt wurde.

Zur Verfügung stand ein Fahrradergometer des Fabrikats "Monark" und zur Sauerstoffmessung das Oxycon, Fabrikat "Hellige". Während des Belastungstestes atmeten die Probanden die expirierte Atemluft direkt in das Oxycon. Die gewonnenen Daten wurden alle 30 sec durch einen Computerausdruck festgehalten.

- Daten:
- Sauerstoffverbrauch,
 - Produktion von CO_2 ,
 - Atemfrequenz,
 - Atemzugvolumen,
 - Pulsfrequenz,
- Abgeleitete Daten:
- Atemminutenvolumen,
 - respiratorischer Quotient,
 - Atemäquivalent,
 - Sauerstoffpuls,

Die im Rahmen der Untersuchungen mit dem Douglassack am Kreuzwanklweg zusätzlich durchgeführte Spiroergometrie erbrachte 1710 Meßdaten.

Abb.(3) zeigt einen Ausdruck der bei der spiroergometrischen Untersuchung eines Probanden ermittelten Meßgrößen.

**** OXYCON TEST - RESULTS ****

INSTITUTE : Klinik für Physikalische Medizin
der Universität München
Klinikum Großhadern

NAME : D. U.

DAT : 18-04-83 PT NO:3

A Y : 23 M/F : F

HT CM:170 B S A:1.67

BL P :125-20 WT KG:58

BAR F:933 FIO2 :20.93

VO2 R:0.22

REMARKS:

TIME	VE	FR	VT	XO2	%CO2	VO2	VO2	VO2	R	FH	O2	VE-	METS
(STPD)						(STPD)	/L/G	(STPD)			PULSE	EO	
MIN.	L/M	B/M	L/BR	%	%	L/M	ML/G	L/M		B/M	ML/B		
0.5	19.6	21	0.93	4.8	2.4	0.70	12.1	0.36	0.51	60	10.3	27.9	3.2
1.0	16.0	17	0.94	5.0	2.5	0.68	10.3	0.30	0.51	66	9.1	26.7	2.7
1.5	10.6	20	0.93	5.0	2.7	0.73	12.6	0.37	0.51	60	10.7	25.4	3.3
2.0	17.0	18	0.99	5.1	2.7	0.69	11.9	0.36	0.52	70	9.9	25.9	3.1
2.5	16.2	18	0.90	5.1	2.7	0.63	10.8	0.33	0.53	69	9.1	25.0	2.8
3.0	16.6	19	0.87	5.2	2.7	0.65	11.2	0.34	0.52	71	9.2	25.5	3.0
3.5	17.7	18	0.98	5.5	2.8	0.73	12.6	0.37	0.51	69	10.6	24.3	3.3
4.0	19.7	22	0.90	5.5	2.9	0.83	14.2	0.43	0.52	74	11.2	23.9	3.8
4.5	19.3	18	1.07	5.5	2.9	0.81	13.9	0.43	0.53	77	10.5	24.0	3.7
5.0	20.4	20	1.02	5.7	3.0	0.87	15.0	0.46	0.53	80	10.9	23.4	4.0
5.5	20.7	20	1.04	5.6	3.0	0.80	15.2	0.47	0.53	82	10.7	23.6	4.0
6.0	20.3	20	1.01	5.5	3.0	0.84	14.6	0.45	0.54	84	10.0	24.0	3.8
6.5	24.5	23	1.07	5.6	3.0	1.04	17.0	0.56	0.54	83	12.5	23.7	4.7
7.0	25.3	21	1.20	5.5	2.8	1.04	18.0	0.53	0.51	84	12.4	24.2	4.7
7.5	20.5	22	1.30	5.6	2.9	1.20	20.6	0.63	0.52	86	14.0	23.8	5.4
8.0	25.5	20	1.27	5.7	2.9	1.09	18.8	0.57	0.51	87	12.5	23.3	5.0
8.5	26.8	21	1.28	6.0	3.1	1.21	20.9	0.64	0.52	91	13.3	22.2	5.5
9.0	20.0	21	1.24	5.9	3.0	1.17	20.1	0.60	0.51	93	12.6	22.5	5.3
9.5	20.8	18	1.16	5.8	2.9	0.92	15.8	0.46	0.50	85	10.8	22.7	4.2
10.0	23.6	19	1.24	6.4	2.7	1.15	19.0	0.49	0.42	84	13.7	20.5	5.2
10.5	25.0	25	1.07	6.3	2.8	1.23	21.1	0.55	0.44	80	15.4	21.0	5.6
11.0	20.2	24	0.84	4.6	2.3	1.70	12.0	0.36	0.50	76	9.2	20.0	3.2
11.5	17.2	21	0.84	4.4	2.2	0.59	10.1	0.30	0.51	72	8.2	20.8	2.7
12.0	15.7	22	0.71	4.3	2.1	0.51	8.8	0.25	0.49	70	7.5	20.5	2.5

Douglassackverfahren am Kreuzwanklweg

Probanden und Jahreszeit:

Im Frühjahr 1983 (16. - 28. März) nahmen zwei weibliche Probanden (Alter 23 und 50 Jahre) und drei männliche (22, 49 und 66 Jahre) freiwillig an diesem Belastungstest teil.

Versuchsgeräte:

- Kardiotachometer "Wilken 799",
- Stoppuhr,
- Metronom,
- Nasenklemme,
- Douglassack mit Ventil und Mundstück,
- paramagnetisches Sauerstoff-Meßgerät "Servomex, Oxycon Analysator Typ OA 101, Mark 2"

Das Douglassackverfahren

Zur Messung der Sauerstoffaufnahme während der Begehung bietet sich als indirekte Energieumsatzbestimmung das Douglassackverfahren an. Es handelt sich um ein offenes Respirationssystem, d.h. Ein- und Ausatemwege sind getrennt. Der Douglassack wird während des Terraintests wie ein Rucksack getragen und ist somit den Probanden in keiner Weise hinderlich. Der Proband verschließt die Nase durch eine Nasenklemme und atmet über ein Ventil mit dem Mundstück Frischluft ein. Die gesamte Atemluft wird in einem luftdichten Douglassack gesammelt. Die Dauer der Meßperiode wird durch eine Stoppuhr exakt definiert.

Durchführung

Mit freundlicher Genehmigung der Wankbahn AG konnten wir im Maschinenraum der Hausbergbahn (Bergstation) eine Gasuhr sowie ein Gerät zur Sauerstoffbestimmung für den gesamten Untersuchungszeitraum aufstellen und anwenden.

Zur Messung der Sauerstoffaufnahme standen 3 Douglassäcke mit einem Füllungsvolumen von 2 x 100 l und 1 x 150 l zur Verfügung.

Die erste Messung erfolgte am Garmischer Haus in Ruhe. 4 min sammelten die Probanden ihr Ausatemvolumen in einem der kleineren Säcke.

Herzfrequenzmessungen wurden an den oben genannten Meßpunkten durchgeführt.

Der zweite Sack wurde während der Begehungen zwischen Meßpunkt 2 und 3 gefüllt. Dieses Wegstück gewährleistete am ehesten ein steady state des Probanden. Die Versuchszeit von Meßpunkt 2 - 3 ist mit 2.30 (kürzester Zeitaufwand) und 2.50min (längster Zeitaufwand) anzugeben.

Der dritte, größere Sack wurde zwischen Meßpunkt 4 und 5 gefüllt. Die Meßzeit schwankte zwischen 6.15 und 6.50min.

Nach der Rückkehr von einem Testgang wurde eine Messung der Sauerstoffkonzentration im "Servomex" Gerät vorgenommen und eine Probe für Sauerstoffvergleich und Kohlendioxidmessungen entnommen. Unter Berücksichtigung der schon entnommenen Luftmenge wurde das ausgeatmete Volumen bestimmt, indem der Sack über eine Gasuhr entleert wurde.

Die entnommene Probe wurde noch am gleichen Abend unter Berücksichtigung des während der Zeit des Transports durch die Gummibehälter entwichenen CO_2 -Gehaltes an einem Oxycon im Institut für Physikalische Medizin, Klinikum Großhadern ausgewertet.

Die Weiterführung der Untersuchungen am Kreuzwankweg mit der Douglassackmethode lieferte von 5 Probanden bei 15 Begehungen 225 Meßdaten, wobei neben der Blutdruck- und Pulsfrequenzmessung das Ausatemvolumen von 3 Meßstrecken ausgewertet wurde.

Um Kontrollmessungen des Sauerstoffgehaltes und die Bestimmung des CO_2 -Gehaltes vornehmen zu können, wurde von jeder Meßstrecke ein gefüllter Probeballon von Garmisch nach München transportiert.

Die Beurteilung der RQ-Werte muß aufgrund der kleinen Probandenzahl und der großen Streubreite unterlassen werden.

Anhand eines Beispiels soll die Auswertung der am Kreuzwankweg gesammelten Gasvolumina aufgezeigt werden.

Proband Nr. 3 (weibl. 23J) - 22.3.1983

Begehung: Start 9.20 Uhr, Luftdruck 857.7 mb = 636 Torr
(Umrechnungsfaktor nach Tabelle Documenta Geigy = 0.7697)

Raumtemperatur: 14 Grad C

Gerätetemperatur: 17 Grad C

Elchwert (Berg) : 18.9 Vol% O_2 (bezogen auf NTP)

"Servomex"-Gerät

Elchwert (Oxycon München): 20.9% O_2

Dauer der Gassammlung:	Ruhemessung	4 min
	von Meßpunkt 2 - 3	2.40 min
	von Meßpunkt 4 - 5	6.30 min

Luft im Douglassack über Gasuhr an der Bergstation abgelassen:	Ruhemessung	45.0 l
	von Meßpunkt 2 - 3	80.5 l
	von Meßpunkt 4 - 5	169.5 l

Sauerstoffwert:	Ruhemessung	15.95%
	von Meßpunkt 2 - 3	14.4 %
	von Meßpunkt 4 - 5	14.6 %

O ₂ -Differenz am Berg (Eichwert-Meßwert):	Ruhemessung	2.95%
	von Meßpunkt 2 - 3	4.5 %
	von Meßpunkt 4 - 5	4.3 %

O ₂ -Differenz am Oxycon-München (20.9 - Meßwert):		
Methode (1)	Ruhemessung	3.5 %
	von Meßpunkt 2 - 3	4.8 %
	von Meßpunkt 4 - 5	4.65%

Berechnung des Quotienten (20.9:Eichwert Berg):		
(O ₂ -Verlust Gasprobe)	Ruhemessung	1.19
	von Meßpunkt 2 - 3	1.07
	von Meßpunkt 4 - 5	1.08

(Der Mittelwert dieser Rechnung aus allen Begehungen ist 1.145, der für die weitere Berechnung benützt wurde).

Damit ergibt die Differenz Eichwert - Meßwert x 1.145 folgenden Sauerstoffverbrauch:

Methode (2)	Ruhemessung	3.38%
	von Meßpunkt 2 - 3	5.15%
	von Meßpunkt 4 - 5	4.92%

Für die weiteren Berechnungen wurde der Mittelwert des Sauerstoffverbrauchs aus Methode (1) und (2) benützt:
 ((2)+(1)) : 2

Ruhemessung	3.45%
von Meßpunkt 2 - 3	4.95%
von Meßpunkt 4 - 5	4.75%

Die Berechnung des Sauerstoffverbrauchs in l/min erfolgte nach den Beziehungen

$$\text{O}_2\text{-Verbrauch (l/min)} = \frac{\text{Faktor (p/Grad C)} \times \% \text{ O}_2 \times \text{Gasvolumen}}{\text{min} \times 100}$$

$$\text{Für Ruhemessung: } \frac{0.7697 \times 3.45 \times 45 \text{ l}}{4 \times 100 \text{ min}} = 0.29 \text{ l/min}$$

$$\text{von Meßpunkt 2 - 3: } \frac{0.7697 \times 4.95 \times 80.5 \text{ l}}{2.40 \times 100 \text{ min}} = 1.28 \text{ l/min}$$

$$\text{von Meßpunkt 4 - 5: } \frac{0.7697 \times 4.75 \times 169.5 \text{ l}}{6.30 \times 100 \text{ min}} = 0.98 \text{ l/min}$$

Wird der durchschnittliche Sauerstoffverbrauch von Meßpunkt 2-3 und Meßpunkt 4-5 den entsprechenden Wattzahlen der Ergometrie (Interpolation zwischen den Stufen) zugeordnet, so ergeben sich folgende Leistungswerte (Mittelwerte aus zwei Begehungen).

	O ₂ -Verbrauch (ml/min)	Wattzahl Ergometrie	O ₂ -Verbrauch (ml/min)	Wattzahl Ergometrie
	Meßpunkt 2-3		Meßpunkt 4-5	
Proband 3	980	71	930	59

Step test

(Vergleich der kardialen Reaktion im Tal und in der Höhe)

An diesem Testprogramm, das wir nur einmal wöchentlich (samstags oder donnerstags) durchführten, nahmen zwischen 5 und 9 Probanden teil. Da die Privatgesellschaft der Bayer. Zugsplitzbahnen für diese Untersuchungen sowohl in der Talstation als auch in der Bergstation jeweils einen Raum zur Verfügung stellte, konnten die Messungen reibungslos an einem größeren Kollektiv vorgenommen werden.

Um das Belastungsverhalten der Probanden im Tal und nach einer Gondelfahrt in 2085m Höhe zu erfassen, wurden im Rahmen des Steptestprogramms folgende Meßdaten aufgezeichnet.

Herzfrequenz und Blutdruck nach der auf Seite 16/17 beschriebenen Methode

- in Ruhe
- nach 3minütigem Treppensteigen,
- nach einer Erholungspause von 3 min.

Unter anderem sollten die Ergebnisse von JUNGMANN (43) überprüft werden, ob die Pulsfrequenzabnahme als vagotone Kreislaufreaktion auf den Druckabfall entsprechend dem Höhenunterschied gedeutet werden darf.

Modifizierter Steptest nach Masters

Die Probanden erstiegen bei vorgegebener Metronomfrequenz von 60/min eine Stufe von 20 cm Höhe abwechselnd mit dem linken und dem rechten Bein (doppelter "Mastertest"). Nach der Datenerhebung im Tal wurden in einer Bergbahn 1300 Höhenmeter innerhalb von 10 min überwunden. Innerhalb eines Zeitraums von 5 bis 10 min nach der Ankunft in der Bergstation mußten die Probanden den Test wiederholen.

Um Herzfrequenz- und Blutdruckreaktionen bedingt durch Temperaturunterschiede auszuschließen, waren beide Räume gleich temperiert.

Auswertung

Daten:

Zunächst wurden alle Einzelwerte der 68 Probanden auf Bögen übertragen, die das Einlesen in den Computer des Leibniz-Rechenzentrums in München über Lochkarten ermöglichten.

Von 68 Probanden, die das gesamte Testprogramm oder nur Teile davon absolvierten, sind damit 4.585 Meßdaten festgehalten. Meßgrößen waren dabei Pulsfrequenz und Blutdruck, die bei der Ergometrie und den einzelnen Meßpunkten der Terrainübungswege erhoben wurden.

Nicht mit einbezogen sind die Antworten auf die Frage, ob die Begehung mit dem Bergschritt am Kreuzwankweg Erleichterung brachte.

Um aus den Meßgrößen Pulsfrequenz und Blutdruck bestimmte Rechenoperationen durchzuführen, wurden abgewandelte Auswertungsprogramme aus dem Statistikprogrammpaket BMDP benützt. Zur Anwendung kam der t-Test für unverbundene Stichproben und die Bestimmung von Regressionskoeffizienten.

Daraus ergaben sich folgende Daten:

- Mittelwerte (Blutdruck, Puls),
- Standardabweichung (Blutdruck, Puls),
- Leistung in Watt (Berechnungsweg s. S. 30),
- Blutdruckamplituden (Mittelwert, Standardabweichung),
- Pulsfrequenz-Amplitudenprodukt (Mittelwert, Standardabweichung),
- Regressionen zwischen Leistung und Pulsfrequenz (Gewicht, Größe, Alter, Geschlecht).

Ermittelte Leistung für die Kurterrainübungswege

Erfahrungsgemäß ist bei der Ergometrie im submaximalen Leistungsbereich nach Erreichen des steady state die Pulsfrequenz linear abhängig von der erbrachten Leistung.

Als Formel läßt sich dies durch die Beziehung

$$FR_x = FR_{Ru} + b \times W_x \quad (a)$$

ausdrücken, wobei

FR_x die auf der i-ten Wattstufe erreichte Pulsfrequenz,
 FR_{Ru} die ohne Belastung gemessene Ruhepulsfrequenz,
 W_x die Leistung der i-ten Wattstufe und
 b der Regressionskoeffizient der linearen Beziehung zwischen Leistung und Pulsfrequenz ist (LPI).

Aufgelöst nach W_x läßt sich unter der Voraussetzung, daß für eine andersartige Belastung, also z.B. für das Gehen im Gelände ebenfalls die Beziehung (a) gilt, die erbrachte Leistung nach

$$W_x = \frac{FR_{MPx} - FR_{Ru}}{b} \quad (b)$$

schätzen, wobei

FR_{MPx} Pulsfrequenz am Meßpunkt x ist.

Vor allem im Bereich kleiner Leistungen wirken sich die normalerweise vorhandenen Unterschiede zwischen den Ruhefrequenzen zu verschiedenen Zeitpunkten, also auch zwischen Ergometrie und Geländegang, störend aus. Durch verschiedene Modifikationen des Schätzverfahrens wurde versucht, diese Fehlerquelle möglichst gering zu halten.

Eine Möglichkeit besteht darin, bei der Berechnung des LPI nicht von der Ruhefrequenz auszugehen, sondern die Neigung der Regressionslinie in der Umgebung einer mittleren Leistung zu bestimmen. Im vorliegenden Fall, wo die Ergometrie mit 0, 25, 50 und 75 Watt abgestuft wurde, bot sich an, den Leistungspulsindex BM_{50} in der Umgebung von 50 Watt nach der Methode der kleinsten Abweichungsquadrate aus den Pulsfrequenzen FR_{25} , FR_{50} und FR_{75} zu berechnen.

Die Schätzung der Leistung beim Gehen erfolgt dann nach

$$W_x = \frac{FR_{MPx} - FR_{M50}}{BM_{50}} + 50 \quad (c)$$

FR_{M50} Pulsfrequenz bei 50 Watt

Zusätzlich bestand die Möglichkeit, nicht nur die Ergebnisse einer Ergometrieauswertung, sondern Mittelwerte aus 2 Ergometrieuntersuchungen zu verwenden (aus FR_{M50} wird FR_{MM50} und aus BM_{50} BMM_{50}).

Die Formel lautet dann wie folgt:

$$W_x = \frac{FR_{MPx} - FR_{MM50}}{BMM_{50}} + 50 \quad (d)$$

Die Ruhefrequenz vor dem Gehen bleibt hier unberücksichtigt. Erfahrungsgemäß wirken sich Änderungen der Ruhefrequenz gleichsinnig, aber abgeschwächt auch auf die Pulsfrequenz unter der nachfolgenden Belastung aus. Es wurde versucht, diesem Umstand dadurch Rechnung zu tragen, daß der Regressionskoeffizient RMM zwischen den Abweichungen der Ruhefrequenz mehrere Ergometrien und den zugehörigen Abweichungen der Frequenz bei 50 Watt errechnet und in die Berechnungsformel eingebracht wurde.

So ergibt sich die Beziehung

$$W_x = \frac{FR_{MPx} - FR_{M50} - RMM (FR_{Ru} - FR_{Mu})}{BMM_{50}} + 50 \quad (e)$$

FR_{Ru} Ruhepulsfrequenz bei der Ergometrie
 FR_{Mu} Ruhepulsfrequenz vor der Begehung

Ein weiterer Versuch bestand darin, die aus zwei Ergometrieauswertungen vorliegenden Mittelwerte einzubringen:

$$W_x = \frac{FR_{MPx} - FR_{M50} - RMM (FR_{Ru} - FR_{Mu})}{BMM_{50}} + 50 \quad (f)$$

Alle aufgeführten Schätzformeln wurden mit den Daten aller Patienten durchgerechnet. Anschließend wurde die resultierende Streubreite der Leistungen verglichen.

Formel (d) ergab die kleinste Streuung, sie wurde den Vergleichen zwischen der Ergometrie und den Übungsgängen zugrunde gelegt.

Mit den Indikatoren Pulsfrequenz, Blutdruck und Sauerstoffaufnahme wurden damit zumindest für den Kreuzwankweg alle Meßgrößen der Beanspruchung bestimmt.

Die folgende Übersicht (73) zeigt schematisch die Zusammenhänge:



5. Ergebnisse

Die Ergebnisse des Testprogramms (September/Oktober 1982) sind in den Abbildungen 4 - 34 dargestellt.

Die Ergebnisse der Spiroergometrie geben die Abbildung 28a/b/c wieder.

Die am Kreuzwankweg durch indirekte Energieumsatzmessung bestimmten Werte sind aus den Abbildungen 29 und 30 ersichtlich.

Die Abbildungen der Ergebnisse zeigen:

1. Anzahl der Testpersonen, die in die zu untersuchende Gruppe gehören.
2. Mittlerer Verlauf der Meßwerte,
3. Standardabweichung der Mittelwerte,
4. errechnete Signifikanzen für die Überzufälligkeit der jeweiligen Differenzen

Es bedeutet

x p	=	0.05
xx p	=	0.01
xxx p	=	0.001

Gemeinsame Legende für die folgenden Ergebnisdarstellungen

Allg. Abkürzungen: Sr/min = Schritte/min,
RS = systolischer Blutdruck,
RD = diastolischer Blutdruck,
FR = Pulsfrequenz,
A = Blutdruckamplitude,
P = Blutdruckamplitude x Pulsfrequenz

Spez. Abkürzungen: Gruppe N = Proband ohne Medikamente,
Gruppe M = Proband mit Medikamenten,
Gruppe w = Proband weiblich,
Gruppe m = Proband männlich,
Gruppe 1 = 20 - 40 Jahre,
Gruppe 2 = 41 - 60 Jahre,
Gruppe 3 = 61 - 80 Jahre

A = RS - RD (Blutdruckamplitude)

P = (RS - RD) x FR (Pulsfrequenzamplitudenprodukt)

Zum Testprogramm:

- EA = Ergometrie vor Teilnahme am Testprogramm,
- EE = Ergometrie nach Teilnahme am Testprogramm,
- Weg Nr. 1 = Kramerplateauweg,
- Weg Nr.4N = Kreuzwankweg (normal),
- Weg Nr.4B = Kreuzwankweg Wiederholungsgänge
(von Meßp.4-5, Bergschritt)
- Weg Nr. 5 = Steptest.

Zum Steptest: a = Ruhemessung im Tal,

- b = Messung nach 3min Steptest im Tal,
- c = Messung nach 3min Erholungspause im Tal,
- A = Ruhemessung am Berg,
- B = Messung nach 3min Steptest am Berg,
- C = Messung nach 3min Erholungspause am Berg.

Ergebnisse der Fahrradergometrie

Abbruch der Fahrradergometrie

3 Patienten gaben nach einer dreiminütigen Belastungsstufe von 50 Watt wegen Überbelastung auf.

Patient Nr. 132: Varikosis beider Beine, Knöchelödem,

Patient Nr. 133: Hypertonus,

Patient Nr. 109: Hypertonus.

Ein Proband gab nach einer 3minütigen Belastung von 25 Watt auf. Ursache: starke Schmerzen in der Hüfte,

(Patient Nr. 134: Gonarthrose beidseits,
Coxarthrose beidseits.)

Ergometrische Ergebnisse der Probanden ohne (Gruppe N) und mit (Gruppe M) Herzkreislaufmedikation:

Vergleich der Probanden ohne (Gruppe N) mit Probanden mit **Herzkreislaufmedikation** (Gruppe M) bei der Ergometrie **vor** Beginn des Testprogramms (EA)

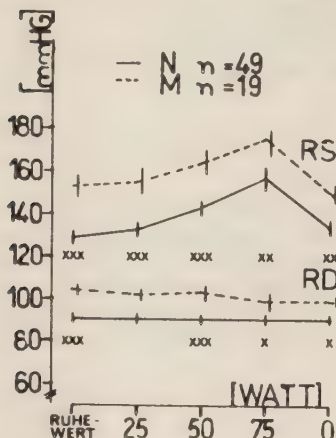


Abb.4a:
Systolische und diastolische Blutdruckwerte der Probanden

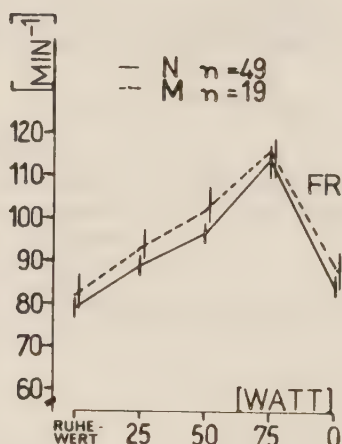


Abb.4b:
Pulsfrequenzwerte der Probanden

Vergleich der Probanden ohne (Gruppe N) mit Probanden mit **Herzkreislaufmedikation** (Gruppe M) bei der Ergometrie **nach** Beendigung des Testprogramms (EE)

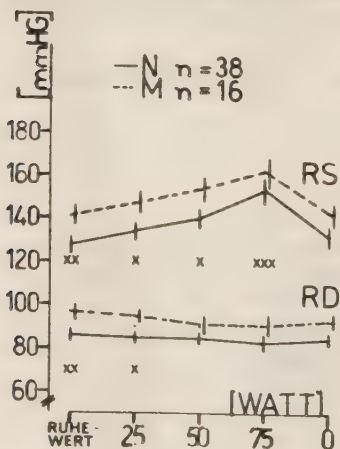


Abb.5a:
Systolische und diastolische Blutdruckwerte der Probanden

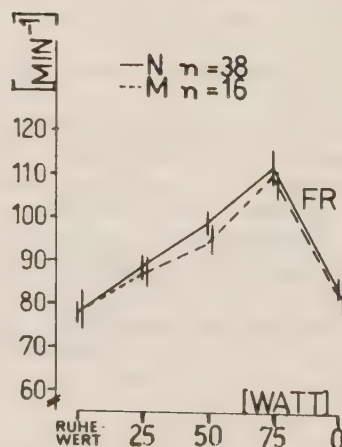
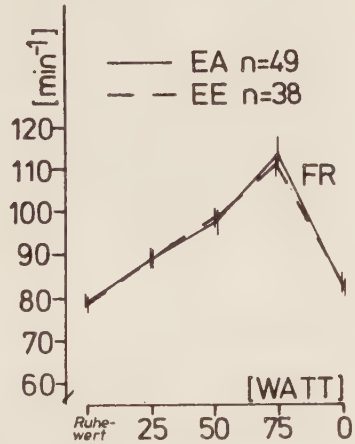
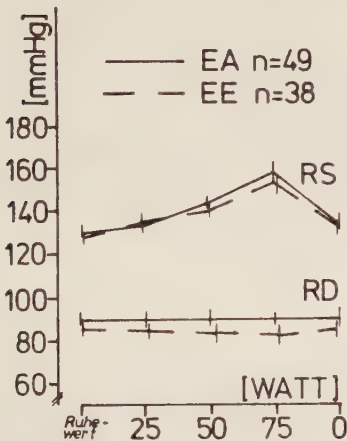
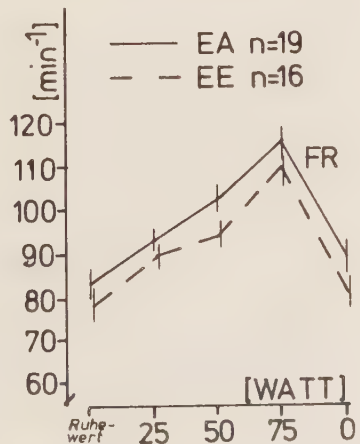
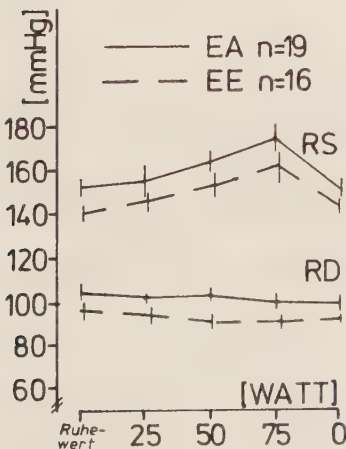


Abb.5b:
Pulsfrequenzwerte der Probanden

Vergleich der Ergometrie **vor Beginn** des Testprogramms (EA) mit der Ergometrie **nach Beendigung** des Testprogramms (EE) der Probanden ohne Herzkreislaufmedikation (Gruppe N)



Vergleich der Ergometrie **vor Beginn** des Testprogramms (EA) mit der Ergometrie **nach Beendigung** des Testprogramms (EE) der Probanden mit Herzkreislaufmedikation (Gruppe M)



Hinweise zu den graphisch dargestellten Ergebnissen:

Zu Abbildung 4a und b (S.34):

Probanden mit Herzkreislaufmedikation (Gruppe M) zeigen bei der Ergometrie vor Durchführung des Testprogramms (EA) im Gegensatz zu Probanden ohne Herzkreislaufmedikation (Gruppe N) höhere Blutdruck- und Pulsfrequenzwerte (ca. 20 mmHg). Auffallend ist ein Absinken des systolischen Erholungsblutdrucks der Probanden in Gruppe M unter den in Ruhe gemessenen systolischen Blutdruck.

Die diastolischen Blutdruckwerte der Probanden mit Herzkreislaufmedikation (Gruppe M) fallen bei der Belastungsstufe von 75 Watt um 4 mmHg ab und ändern bei der Messung des Erholungsblutdrucks diesen Wert nicht.

Zu Abbildung 5a und b (S.34):

Die systolischen und diastolischen Blutdrucke ergeben nach Durchführung des Testprogramms (EE) für die Probanden mit Herzkreislaufmedikation (Gruppe M) nur noch um 7 mmHg höhere Werte. Identischen Verlauf während der Belastung zeigen die Pulsfrequenzwerte beider Gruppen, wobei der Anstieg vom Ruhewert bis 75 Watt Belastung 33/min beträgt.

Zu Abbildung 6a und b (S.35):

Probanden ohne Herzkreislaufmedikation (Gruppe N) zeigen bei Gegenüberstellung der Belastungsuntersuchungen (EA und EE) kaum Veränderungen der gemessenen Größen. Für höhere Belastungsstufen (50, 75 Watt) ist ein Trend zu niedrigeren systolischen und diastolischen Blutdruckwerten bei der Ergometrie nach Beendigung des Testprogramms zu verzeichnen. Auf die Darstellung der Blutdruckamplituden und der Pulsfrequenzamplitudenprodukte wurde verzichtet, da sie keine zusätzlichen Informationen liefern. Nach Durchführung des Testprogramms (EE) sind die Blutdruckamplituden höher. Ursächlich kann die Erniedrigung des diastolischen Blutdrucks angegeben werden. Die höhere Blutdruckdifferenz wirkt sich auch auf das Pulsfrequenzamplitudenprodukt aus.

Zu Abbildung 7a und b (S.35)

Nach Teilnahme der Probanden mit Herzkreislaufmedikation (Gruppe M) am Testprogramm (EE) ist bei allen Belastungsstufen ein deutlicher Abfall der systolischen (12mmHg) und diastolischen (6 mmHg) Blutdruck- sowie Pulsfrequenzwerte (6/min) zu verzeichnen. Die Blutdruckamplitude nimmt im Gegensatz zu jener der Probanden ohne Herzkreislaufmedikation (Gruppe N) minimal ab. Die zusätzliche Abnahme der Pulsfrequenzwerte nach Teilnahme am Testprogramm (EE) wirkt sich damit deutlich auf die errechneten Pulsfrequenzamplitudenprodukte aus.

Zusammenfassung:

Beide Probandengruppen zeigen nach der Teilnahme am Testprogramm (EE) niedrigere Blutdruck- und Pulsfrequenzwerte bei allen Messungen der Fahrradergometrie.

Der Abfall zeigt sich bei Probanden mit (Gruppe M) deutlicher als bei Probanden ohne Herzkreislaufmedikation (Gruppe N).

Werden die Blutdruckamplituden (A) wie die Pulsfrequenzamplituden (P) beider Gruppen der Ergometrie vor (EA) mit der Ergometrie nach (EE) Durchführung des Testprogramms verglichen, so zeichnen sich Probanden ohne (Gruppe N) durch Anstieg, Probanden mit Herzkreislaufmedikation (Gruppe M) durch Abfall beider Parameter aus.

Die Daten sind im Anhang (S. 99) aufgelistet.

Ergebnisse bei Aufteilung nach weiblichen und männlichen Probanden

Vergleich der **weiblichen** mit **männlichen** Probanden bei der Ergometrie **vor** Beginn des Testprogramms (EA)

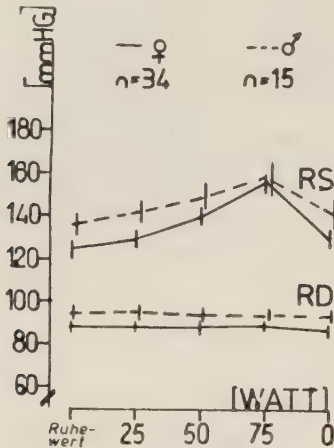


Abb.8a:
Systolische und diastolische Blutdruckwerte der Probanden

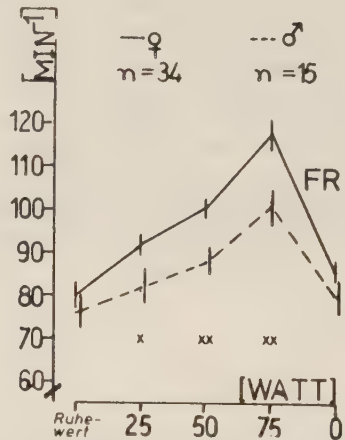


Abb.8b:
Pulsfrequenzwerte der Probanden

Vergleich der **weiblichen** (w) mit **männlichen** Probanden (m) bei der Ergometrie **nach** Beendigung des Testprogramms (EE)

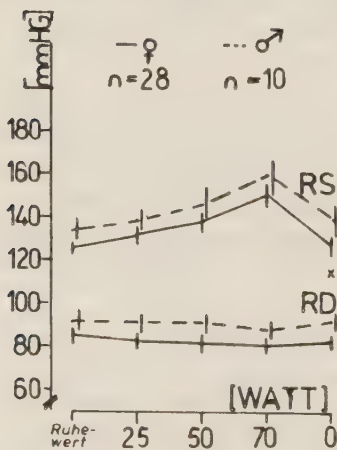


Abb.9a:
Systolische und diastolische Blutdruckwerte der Probanden

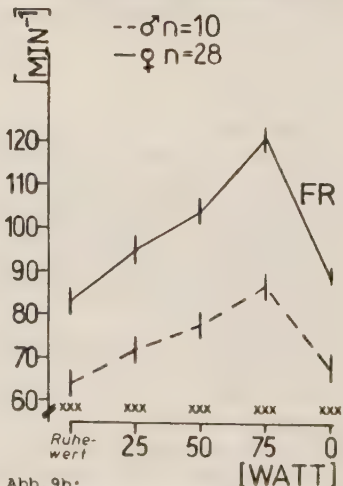


Abb.9b:
Pulsfrequenzwerte der Probanden

Vergleich der Ergometrie **vor** Beginn des Testprogramms (EA)
mit der Ergometrie **nach** Beendigung des Testprogramms (EE)
der **weiblichen** Probanden (w)

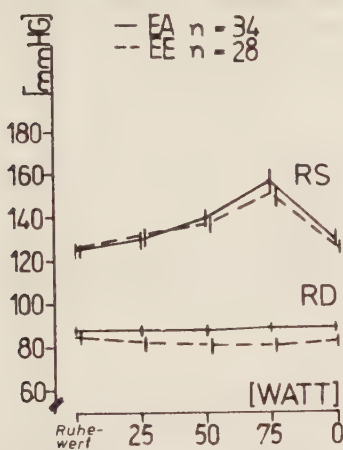


Abb.10a:
Systolische und diastolische Blut-
druckwerte der Probanden

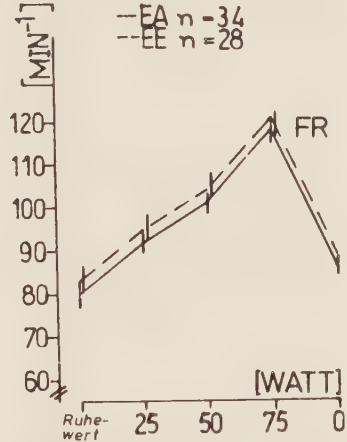


Abb.10b:
Pulsfrequenzwerte der Probanden

Vergleich der Ergometrie **vor** Beginn des Testprogramms (EA)
mit der Ergometrie **nach** Beendigung des Testprogramms (EE)
der **männlichen** Probanden (m)

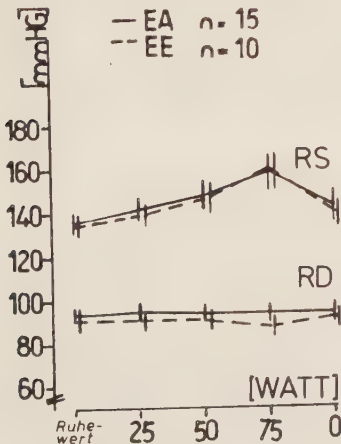


Abb.11a:
Systolische und diastolische Blut-
druckwerte der Probanden

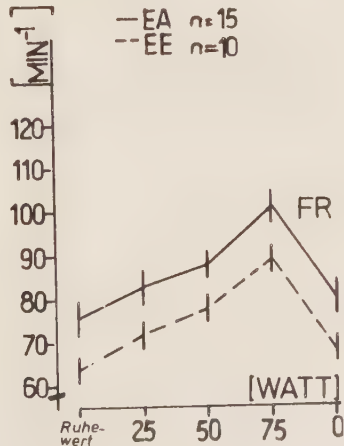


Abb.11b:
Pulsfrequenzwerte der Probanden

Zu Abbildung 8a und b (S.38):

Männliche Probanden (m) zeigen bei allen Belastungsstufen höhere systolische und diastolische Blutdruckwerte sowie deutlich niedrigere Pulsfrequenzwerte.

Bei einer Belastungsstufe von 75 Watt liegt der systolisch gemessene Blutdruck beider Gruppen jedoch innerhalb der Standardabweichung des jeweiligen Mittelwertes.

Zu Abbildung 9a und b (S.38):

Männliche Probanden (m) zeigen konstant höhere systolische und diastolische Blutdruckwerte auch bei der Ergometrie nach Beendigung des Testprogramms.

Bemerkenswert ist die hohe Diskrepanz der Pulsfrequenzwerte beider Gruppen, die bei männlichen Probanden im Durchschnitt um 25/min niedriger sind.

Zu Abbildung 10a und b (S.39):

Weibliche Probanden (w) zeigen nach Beendigung des Testprogramms (EE) ein leichtes Absinken des systolischen (4 mmHg) und ein deutlicheres Absinken des diastolischen Blutdrucks (6 mmHg) sowie der Pulsfrequenzwerte (4/min).

Zu Abbildung 11a und b (S.39)

Im Gegensatz zu den weiblichen Probanden (w) konnten wir für männliche Probanden (m) ein Absinken der Pulsfrequenzwerte (10/min) bei allen Messungen ermitteln. Die systolischen Blutdruckwerte änderten sich nicht, die diastolischen sanken bei der Ergometrie nach Beendigung des Testprogramms (EE) um 3 mmHg.

Zusammenfassung:

Weder bei Männern noch bei Frauen ändert sich das systolische Blutdruckverhalten bei der Ergometrie nach Beendigung des Testprogramms (EE). Für das diastolische Blutdruckverhalten kann ein Absinken verzeichnet werden.

Unterschiedliche Ergebnisse liefert der Vergleich der Pulsfrequenzwerte, der bei der Ergometrie nach Beendigung des Testprogramms (EE) für weibliche Probanden (w) mit einem Anstieg bei allen Wattstufen einschließlich Ruhe- und Erholungswert um 3/min, bei männlichen Probanden (m) mit einem Abfall um 15/min deutlich wird.

Ergebnisse der Probanden im Alter von 20 - 40 Jahren (Gruppe I), im Alter von 41 - 60 Jahren (Gruppe II) und im Alter von 61 - 80 Jahren (Gruppe III)

Vergleich der Probanden der Altersgruppen I, II und III bei der Ergometrie **vor** Beginn des Testprogramms (EA)

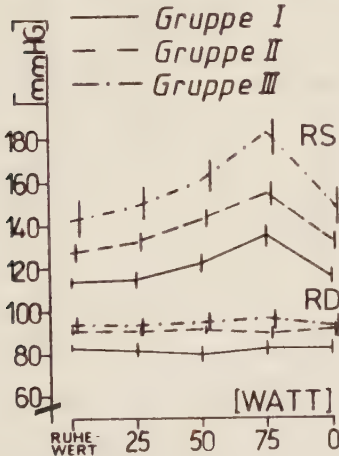


Abb.12a: Systolische und diastolische Blutdruckwerte der Probanden

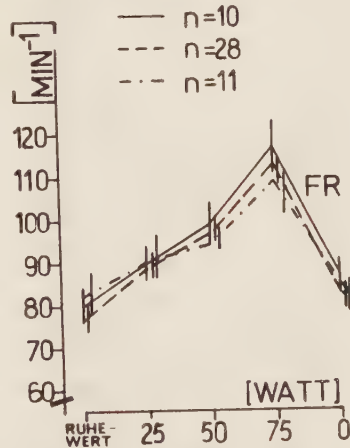


Abb.12b: Pulsfrequenzwerte der Probanden

Vergleich der Probanden der Altersgruppen I, II und III bei der Ergometrie **nach** Beendigung des Testprogramms (EE)

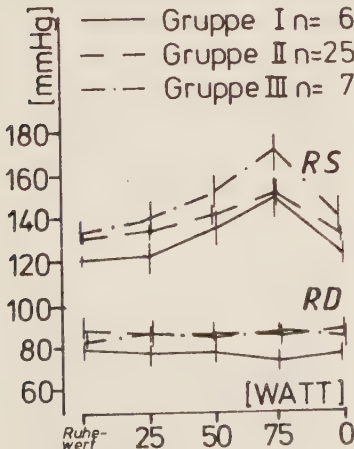


Abb.13a: Systolische und diastolische Blutdruckwerte der Probanden

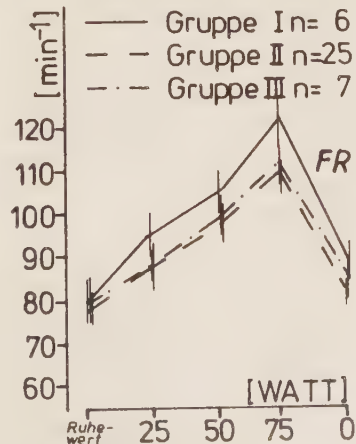


Abb.13b: Pulsfrequenzwerte der Probanden

Vergleich der Ergometrie vor Beginn des Testprogramms (EA) mit der Ergometrie nach Beendigung des Testprogramms (EE) der Gruppe I

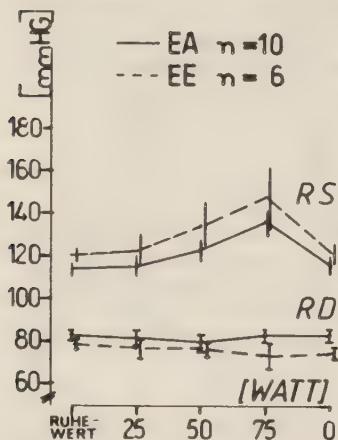


Abb.14a:
Systolische und diastolische Blutdruckwerte der Probanden

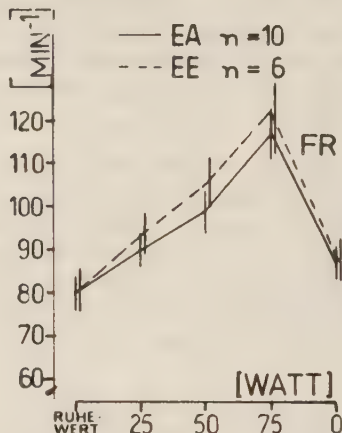


Abb.14b:
Pulsfrequenzwerte der Probanden

Vergleich der Ergometrie vor Beginn des Testprogramms (EA) mit der Ergometrie nach Beendigung des Testprogramms (EE) der Gruppe II

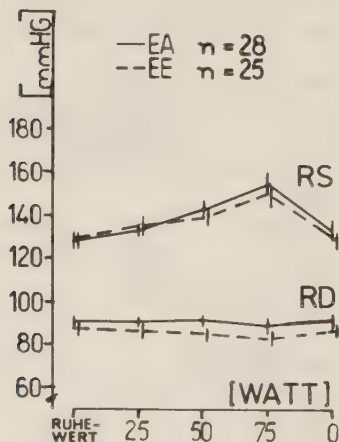


Abb.15a:
Systolische und diastolische Blutdruckwerte der Probanden

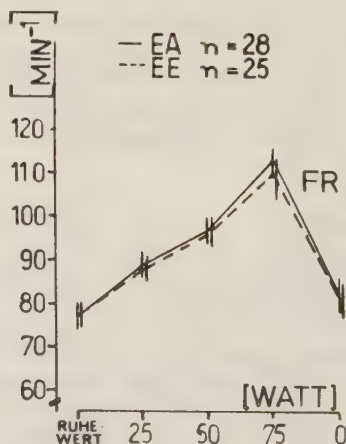


Abb.15b:
Pulsfrequenzwerte der Probanden

Vergleich der Ergometrie vor Beginn des Testprogramms (EA)
mit der Ergometrie nach Beendigung des Testprogramms (EE)
der Gruppe III

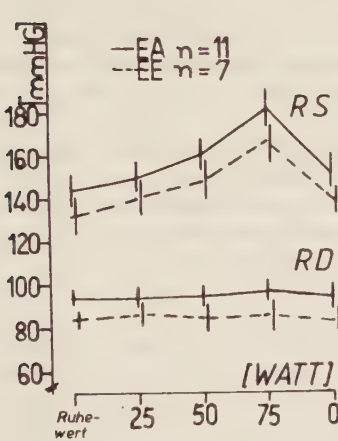


Abb.16a:
Systolische und diastolische Blut-
druckwerte der Probanden

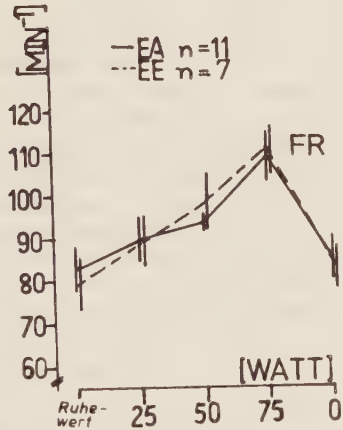


Abb.16b:
Pulsfrequenzwerte der Probanden

Zu Abbildung 12a und b (S.41):

Dieser Vergleich spiegelt eine gleichmäßige Erhöhung des systolischen und diastolischen Blutdrucks im Laufe der Lebensjahrzehnte wider. Bei der Betrachtung der diastolischen Blutdruckwerte fallen die wesentlich niedrigeren Werte der Gruppe I auf. Die Ruhepulswertwerte wurden für Probanden der Gruppe III am höchsten, für Probanden der Gruppe II am niedrigsten gemessen. Eine Belastung von 75 Watt ergibt Pulsfrequenzwerte, die umso niedriger sind, je älter der Proband ist.

Signifikanzen zu Abb. 12a und b:

	Ruhe	25 W	50 W	75 Watt	Erholung
Gruppe 1/2:					
RS:	X	X	X	X	X
Gruppe 2/3:					
RS:	X	X	XX	XX	X
Gruppe 1/3:					
RS:	X	XX	XX	XXX	X
RD:	X	X	XX	XX	-

Zu Abbildung 13a und b (S.41):

Die Darstellung zeigt für Probanden der Gruppe I die niedrigsten systolischen und diastolischen Blutdruckwerte sowie die höchsten Pulsfrequenzwerte.

Probanden der Gruppe II zeigen die niedrigsten Pulsfrequenzwerte. Die systolischen Blutdruckwerte der Gruppe II sind zu Beginn der Belastung deutlich höher als jene der Gruppe I, nähern sich jedoch bei höheren Belastungsstufen (50, 75 Watt) jenen an.

Probanden der Gruppe III zeigen die höchsten systolischen und diastolischen Blutdruckwerte.

Diastolische Blutdruckwerte werden für Probanden der Gruppe II und III annähernd gleich hoch gemessen.

Zu Abbildung 14a und b (S.42):

Probanden im Alter von 20 - 40 Jahren (Gruppe I) zeigen nach Beendigung des Testprogramms (EE) höhere (6 mmHg) systolische und niedrigere diastolische Blutdruckwerte (bei der Belastung von 75 Watt: 9 mmHg). Bei gleichbleibender Ruhepulsfrequenz steigen die gemessenen Pulsfrequenzwerte unter Belastung nur minimal (4/min) an.

Zu Abbildung 15a und b (S.42):

Probanden im Alter von 41 - 60 Jahren (Gruppe II) ändern weder ihr systolisches Blutdruck- noch Pulsfrequenzverhalten, vergleicht man die Ergometrie vor (EA) und nach Beendigung (EE) des Testprogramms. Die diastolischen Blutdruckwerte zeigen für die Messungen nach Beendigung des Testprogramms ein Absinken um 5 mmHg.

Zu Abbildung 16a und b (S.43):

Eindeutige Ergebnisse liefert die Betrachtung der Probanden im Alter von 61 - 80 Jahren (Gruppe III).

Gleichmäßig sinkt der systolische und diastolische Blutdruck um 10 mmHg bei der Ergometrie nach Beendigung des Testprogramms. Der Ruhepuls liegt nach Beendigung des Testprogramms (EE) um 3/min niedriger. Bei steigender Belastung sind die Pulsfrequenzwerte vor (EA) und nach (EE) Durchführung des Testprogramms identisch.

Zusammenfassung:

Der systolische Blutdruck steigt im Vergleich zur Ergometrie vor Beginn des Testprogramms (EA) bei der Ergometrie nach Beendigung des Testprogramms (EE) bei der Gruppe I (20-40 Jahre) an, der diastolische Blutdruck sinkt. Die Pulsfrequenzwerte steigen während der Belastung bei der Ergometrie nach Beendigung des Testprogramms (EE) leicht an.

Gruppe II (41-60 Jahre) zeigt bei der Ergometrie nach Beendigung des Testprogramms (EE) einen leichten Abfall aller drei Meßgrößen.

Gruppe III (61-80 Jahre) zeigt einen Abfall des systolischen und diastolischen Blutdrucks. Der Ruhepuls sinkt bei der Ergometrie nach Beendigung des Testprogramms (EE) leicht ab. Die weiteren Meßwerte ändern sich bei der EE nicht.

Ergebnisse der Terraintests

Gehen in der Ebene (Kramerplateauweg)

Wegbeschreibung:

Hinweg: Schrittempo 60 Sr/min

Zeit(min) Meß-
punkt

- | | | |
|----|----|---|
| | 1: | Ruhewerte (RS, RD, FR) |
| 17 | 2: | FR nach 1min leichter Steigung (1%) |
| 23 | 3: | nach Gehen auf ebener Strecke (RS, RD, FR) |
| 32 | 4: | nach kurzem Abwärtsgehen am Ende der Strecke (RS, RD, FR) |

Rückweg: Schrittempo 80 Sr/min

- | | | |
|----|----|--|
| 34 | 5: | FR nach leichter Steigung (4%) |
| 47 | 6: | nach Gehen auf ebener Strecke (RS, RD, FR) |
| 51 | 7: | FR nach kurzer (ca. 2min) Steigung (3%) |
| 53 | 8: | FR nach kurzem (1.5min) Abwärtsgehen (4%) |
| 70 | 9: | nach Gehen auf ebener Strecke (RS, RD, FR) |

Vergleich der Probanden ohne (Gruppe N) mit Probanden mit
Herzkreislaufmedikation (Gruppe M) am Kramerplateauweg

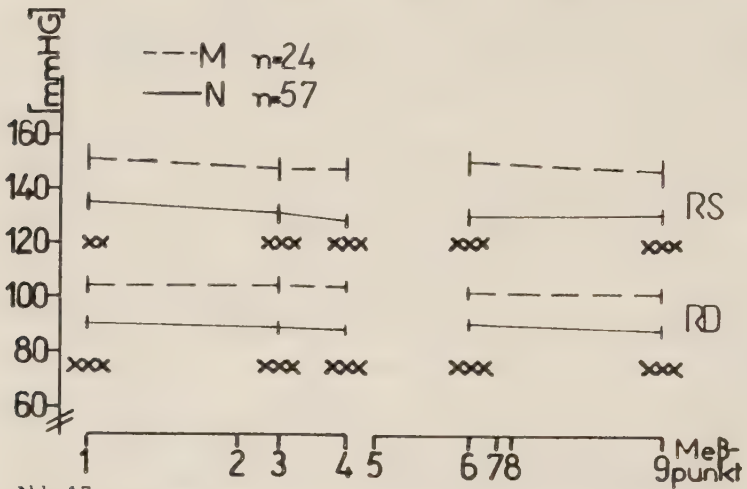


Abb.17a:
Systolische und diastolische Blutdruckwerte der Probanden

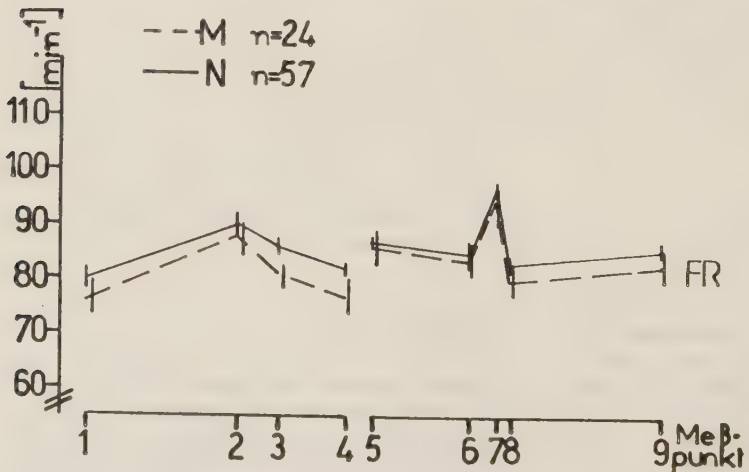


Abb.17b: Pulsfrequenzwerte der Probanden

Vergleich der weiblichen (w) mit männlichen (m) Probanden
am Kramerplateauweg

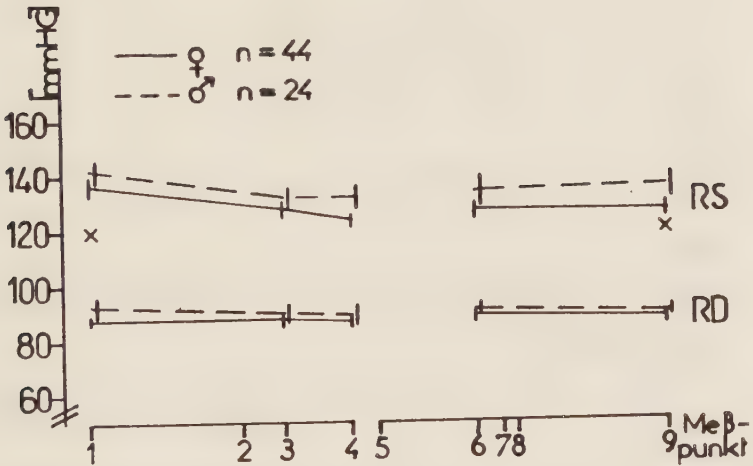


Abb.18a:
Systolische und diastolische Blutdruckwerte der Probanden

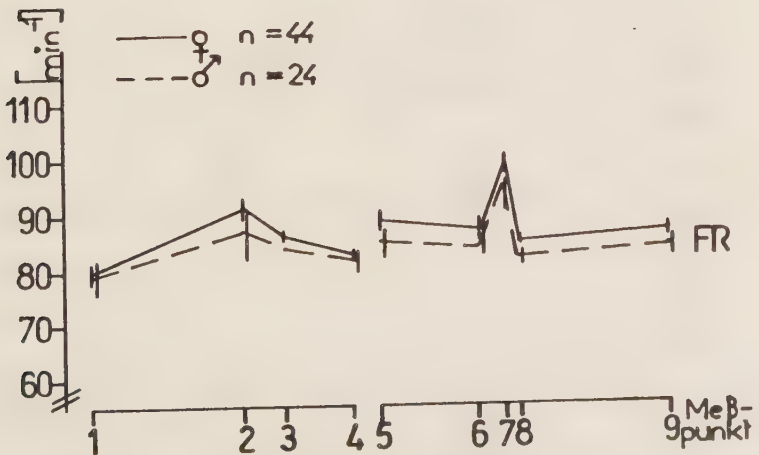


Abb.18b: Pulsfrequenzwerte der Probanden

Vergleich der Probanden der Altersgruppen I, II und III am
Kramerplateauweg

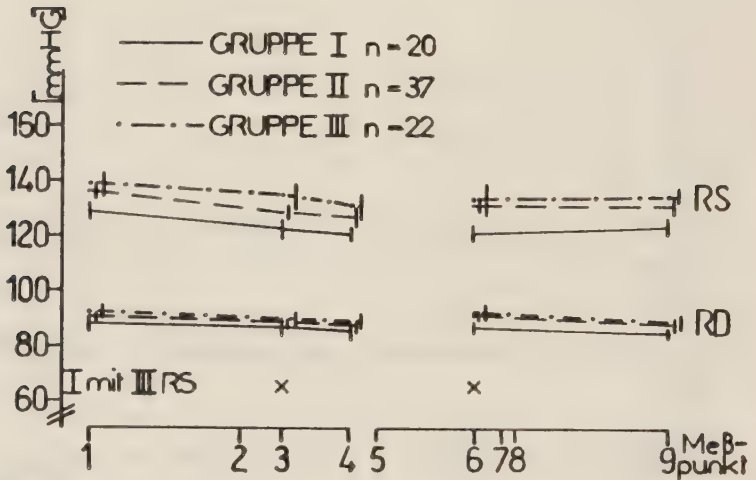


Abb.19a:
Systolische und diastolische Blutdruckwerte der Probanden

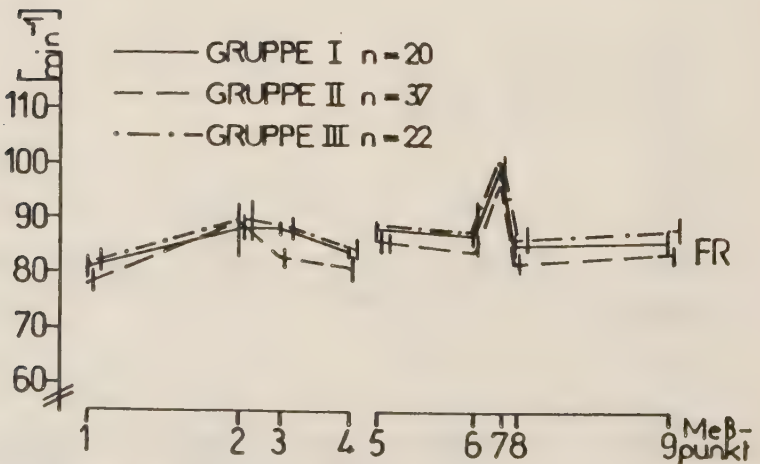


Abb.19b: Pulsfrequenzwerte der Probanden

Vergleich der **ersten** Begehung mit der **zweiten** Begehung der Probanden **ohne Herzkreislaufmedikation** (Gruppe N) am **Kramerplateauweg**

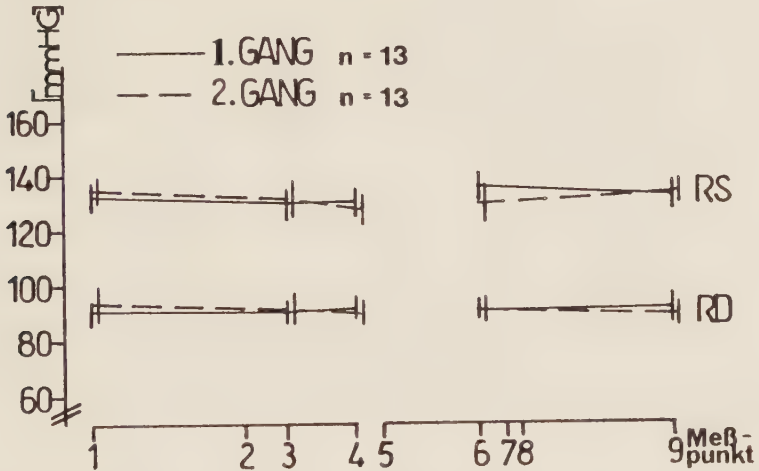


Abb.20a:
Systolische und diastolische Blutdruckwerte der Probanden

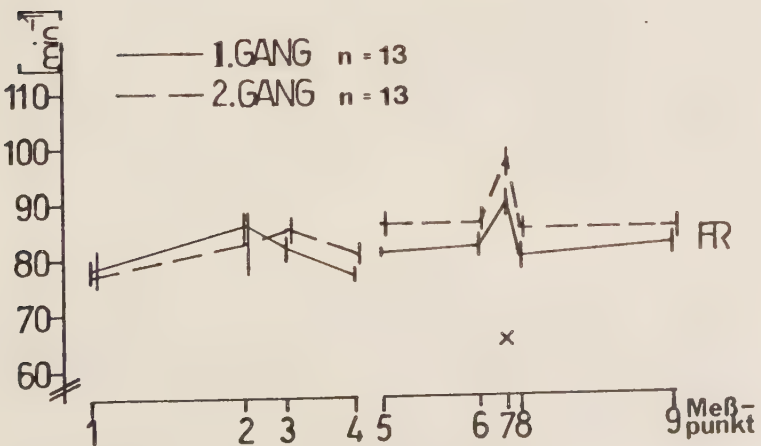


Abb.20b: Pulsfrequenzwerte der Probanden

Zu Abbildung 17a und b (S.46)

Deutlich höhere systolische (15mmHg) sowie diastolische (12mmHg) Blutdruckwerte werden für Probanden der Gruppe M am Startpunkt erhoben. Diese Differenz zu Blutdruckwerten der Gruppe N bleibt während dieses Terraintest erhalten. Hingewiesen sei auf die Abnahme des diastolischen Blutdrucks der Probanden der Gruppe M (3mmHg) bei Schrittempo 80/min.

Die Pulsfrequenzwerte der Probanden der Gruppe M sind bei Schrittempo 60/min um 4/min, bei Tempo 80 Sr/min um 2/min niedriger als jene der Gruppe N.

Zu Abbildung 18a und b (S.47):

Im Vergleich zeigen weibliche Probanden im Gegensatz zu männlichen Probanden niedrigere diastolische und systolische Blutdruckwerte, jedoch höhere Pulsfrequenzwerte.

Die Änderung des Tempos auf 80 Sr/min äußert sich vor allem in einer Pulsfrequenzerhöhung um ca. 5/min für beide Probandengruppen.

Zu Abbildung 19a und b (S.48):

Für die Probanden der Altersgruppe I werden die niedrigsten systolischen und diastolischen Blutdruckwerte gemessen, die höchsten dagegen für die Probanden der Altersgruppe III. Die Betrachtung der Pulsfrequenzwerte ergibt für Probanden der Altersgruppe II die niedrigsten und für Probanden der Altersgruppe III die höheren Werte. Eine Gehgeschwindigkeit von 80 Sr/min erhöht die Pulsfrequenzwerte der Gruppe II um 4/min, jene der Gruppe I und III um 5/min.

Zu Abbildung 20a und b (S.49):

Bei der zweiten Begehung zeigt sich ein Trend zu niedrigeren systolischen und diastolischen Blutdruck- und höheren Pulsfrequenzwerten bei einem Schrittempo von 80 Sr/min.

Ermittelte Leistung (Watt)

Die aus der Pulsfrequenz-Äquivalenz zur Belastungsergometrie berechnete Leistung (Watt) nach Formel (d)(S.30) für den Kramerplateauweg zeigt

Tab. 7: (Meßpunkt 1 = Messung in Ruhe)

Leistung (Watt) für Gruppe

Meßpunkt	N	M	w	m	I	II	III
2	30	25	31	22	37	29	35
3	20	11	22	17	29	13	27
4	13	3	15	13	17	8	18
5	24	22	27	19	25	20	32
6	20	18	22	17	21	16	25
7	44	42	48	40	41	40	46
8	15	10	18	14	17	9	21
9	20	15	22	17	22	17	30

Berechnung nach HOFMANN/LEINER nach Formel (S.8):

Gehgeschwindigkeit 60 Sr/min (M 1-4) = 1.7km/h
 Leistung (Watt) = 16.76

Gehgeschwindigkeit 80 Sr/min (M 5-9) = 2.4km/h
 Leistung (Watt) = 28.29

Berechnung nach Formel d (S.30):

Mittelwerte der berechneten Leistung (Watt) für Gruppe

Meßpunkt	N	M	w	m	I	II	III
Mp 1-4	21	13	22	17	27	16	26
Mp 5-9	24	21	27	21	25	20	30

Gehen in alpinem Gelände (Kreuzwanklweg)

Wegbeschreibung

Meßp.

80 Sr/min

- 1 Talstation: Ruhewerte
- 2 Garmischer Haus 1330 m (nach 5min Bergfahrt)
- 3 nach einer Strecke (526m) mit durchschn. 5% Steigung
- 4 nach ebenem Wegstück (57m)

60 Sr/min

- 5 nach einem Aufstieg (durchschnittl. 9% Steigung, 215m, wobei kurzzeitige Steigungen bis zu 25% vorkamen)
- 6 nach weiterem Anstieg (8% Neigung) folgt am Ende der Wegstrecke ein fast ebenes Wegstück (gesamt 65m). Die Meßergebnisse können als Erholungswerte nach Belastung betrachtet werden.

Zusätzliche Legende:

4N = erste Begehung des Kreuzwankwegs

4B = zweite und jede weitere Begehung des Wegs (von Meßpunkt 4 - 6) Anwendung des Bergschritts.

Erste Begehung des Kreuzwanklwegs (Weg 4N)

Vergleich der Probanden **ohne** (Gruppe N) mit Probanden mit **HerzKreislaufmedikation** (Gruppe M) bei der **ersten** Begehung des **Kreuzwanklwegs**

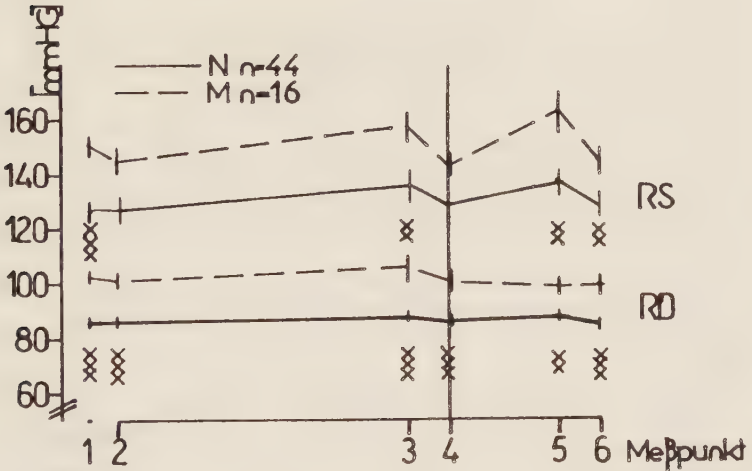


Abb. 21a: Systolische und diastolische Blutdruckwerte der Probanden

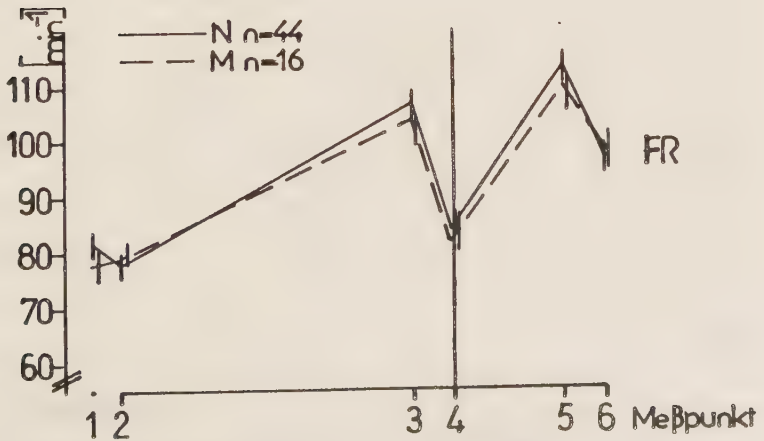


Abb. 21b: Pulsfrequenzwerte der Probanden

Vergleich weiblicher (w) mit männlichen (m) Probanden bei der ersten Begehung des Kreuzwankwegs

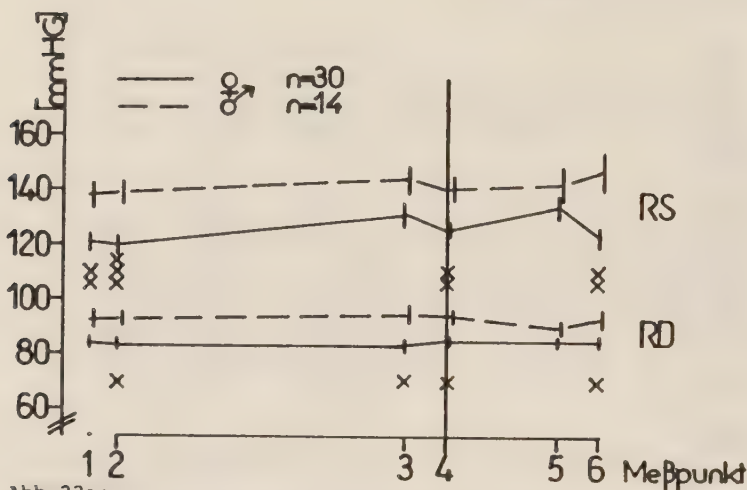


Abb. 22a: Systolische und diastolische Blutdruckwerte der Probanden

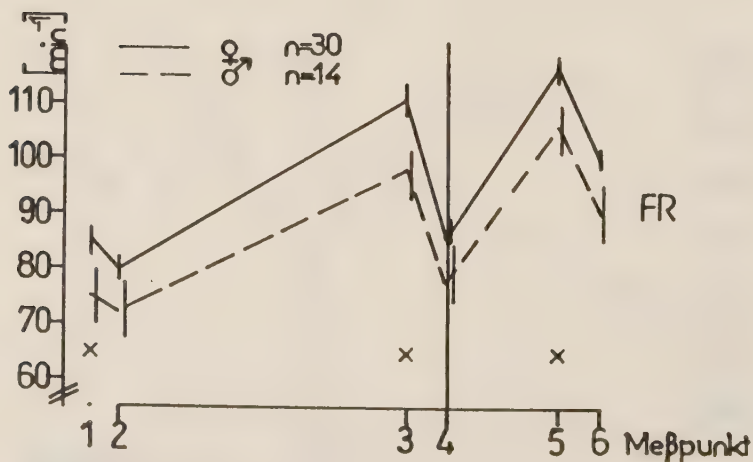


Abb. 22b: Pulsfrequenzwerte der Probanden

Vergleich der Probanden im Alter von 20-40 Jahren (Gruppe I), von 41-60 Jahren (Gruppe II) und von 61-80 Jahren (Gruppe III) bei der ersten Begehung des Kreuzwankwegs.

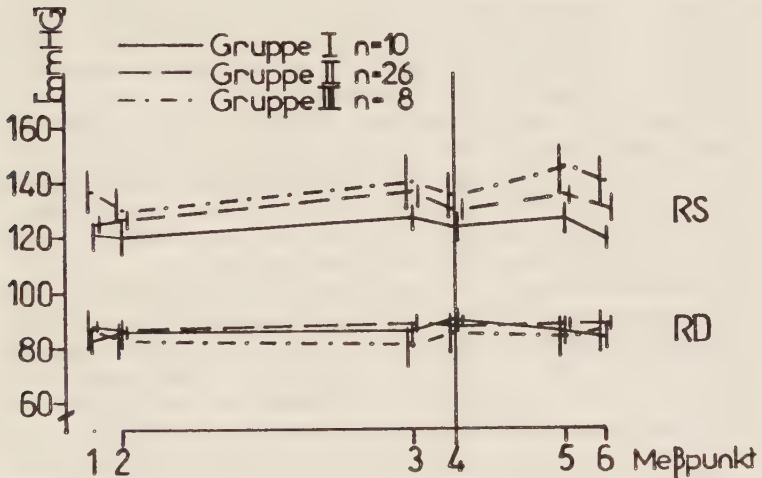


Abb.23a: Systolische und diastolische Blutdruckwerte der Probanden

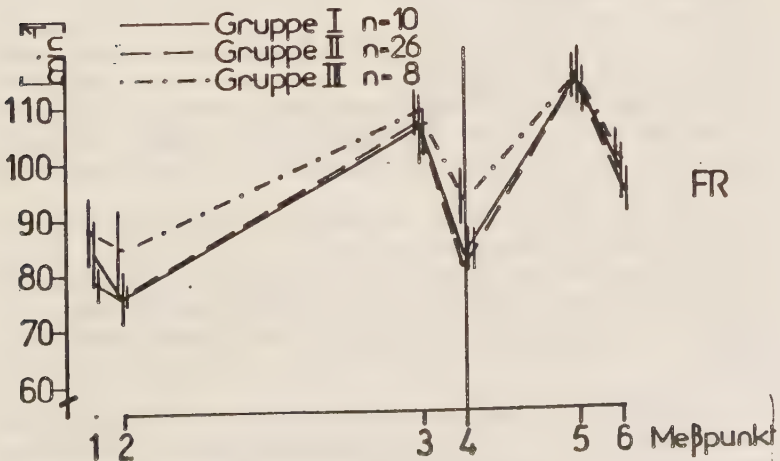


Abb.23b: Pulsfrequenzwerte der Probanden

Zu Abbildung 21a und b (S.53):

Die Überwindung des Höhenunterschieds mit der Bergbahn zeigt bei der Messung am Berg (Meßpunkt 2) ein gegensinniges Verhalten der Probanden ohne (Gruppe N) zu den Probanden mit Herzkreislaufmedikation (Gruppe M). Gruppe N zeigt im Tal wesentlich niedrigere systolische Blutdruck- und höhere Pulsfrequenzwerte im Gegensatz zur Messung am Berg. Gruppe M zeigt dagegen bei der Messung am Berg niedrigere systolische Blutdruckwerte und höhere Pulsfrequenzwerte im Gegensatz zur Messung im Tal.

Der Vergleich der Gruppe N mit Gruppe M stimmt überein mit den Ergebnissen dieser beiden Probandengruppen bei der Ergometrie nach Beendigung des Testprogramms (Abb.5a und b) und der Begehung des Kramerplateauwegs (Abb. 17a und b).

Die deutliche Blutdruckdifferenz beider Gruppen fällt bei der ersten Begehung des Kreuzwankwegs auf.

Im Gegensatz zu der eindeutigen Pulsfrequenzdifferenz am Kramerplateauweg (Abb.17b) zeigt Gruppe M minimal niedrigere Pulsfrequenzen als Gruppe N. Unter Belastung steigt die Pulsfrequenz der Gruppe N schneller an und fällt während der Erholungszeit (z.B. Meßp.3-4 und Meßp.5-6) auch schneller wieder ab im Gegensatz zu Gruppe M.

Zu Abbildung 22a und b (S.54):

Die Überwindung des Höhenunterschieds mit der Bergbahn zeigt bei beiden Gruppen bei der Messung am Berg einen deutlichen Pulsfrequenzabfall. Die Auswirkungen auf die Blutdruckwerte sind gering.

Die bei der Ergometrie vor (Abb.8a und b) und nach (Abb. 9a und b) Durchführung des Testprogramms sowie auf dem Kramerplateauweg (Abb.18a und b) gefundenen Unterschiede im Blutdruck- und Pulsfrequenzverhalten weiblicher und männlicher Probanden gelten auch für die erste Begehung des Kreuzwankwegs.

Männliche (m) Probanden zeigen dabei höhere Blutdruck- und niedrigere Pulsfrequenzwerte.

Auffallend ist bei männlichen Probanden (m) ein Anstieg des systolischen und diastolischen Blutdrucks zwischen Meßpunkt 5 und 6 (Erholungsphase). Der diastolische Blutdruck zeigt diese Eigenheit auch bei der Altersgruppe III (Abb. 23a).

Unter Belastung zeigen weibliche Probanden (w) einen stärkeren Blutdruck- und Pulsfrequenzanstieg, bei Entlastung (Meßpunkt 3-4 und Meßpunkt 5-6) einen stärkeren Blutdruck- und Pulsfrequenzabfall als männliche Probanden (m).

Zu Abbildung 23a und b (S.55):

Bei allen Gruppen ist zwischen der Messung im Tal und am Berg ein deutlicher Pulsfrequenzabfall zu verzeichnen. Unterschiedlich wirkt sich der Einfluß des Höhenunterschiedes auf die Blutdruckwerte aus. Probanden der Gruppe I reagieren mit einem systolischen und diastolischen Blutdruckanstieg, Probanden der Gruppe II dagegen mit einem Abfall, Probanden der Gruppe III ebenfalls mit einem Blutdruckabfall. Wie die vorherigen Vergleiche (Abb. 21a und b und 22a und b) spiegelt auch hier die erste Begehung des Kreuzwankwegs die Ergebnisse vorangegangener Untersuchungen, z.B. der Fahrradergometrie (Abb. 12/13a und b) und der Begehung des Kramerplateauwegs (Abb. 19a und b) wider.

Die Blutdruckdifferenz zwischen den Altersgruppen ist wie bei der Begehung des Kramerplateauwegs nicht so stark ausgeprägt im Vergleich zur Ergometrie vor Beginn des Testprogramms.

Zeigen Probanden der Altersgruppe III bei niedrigem Belastungsgrad (25 Watt bei der Fahrradergometrie (Abb. 12a und b) und Gehen am Kramerplateauweg (Abb. 19a und b)) die höchsten Pulsfrequenzen, so gilt dies auch für die erste Begehung am Kreuzwankweg.

Es soll darauf hingewiesen werden, daß Probanden jeden Alters unter stärkerer Belastung, wie bei der Überwindung des Steilstücks (Meßpunkt 4-5), identische Pulsfrequenzwerte erreichen.

Jedoch sind die Ausgangswerte bei Meßpunkt 4 (Erholungswert nach Gehen auf ebenem Wegstück) für Probanden im Alter von 61-80 Jahren (Gruppe III) wesentlich höher als die der anderen Altersgruppen. Damit fällt der Pulsfrequenzanstieg unter Belastung geringer aus (Abb. 27a-c).

Dieses Ergebnis stimmt auch mit der Belastungsergometrie vor Beginn des Testprogramms (Abb. 12a und b) überein, bei der Probanden im Alter von 61-80 Jahren im Vergleich zu jüngeren Probanden höchste Ruhepulsfrequenzwerte, jedoch niedrigste Pulsfrequenzwerte bei einer 75 Wattbelastung zeigen.

Wiederholungsgang am Kreuzwanklweg (2. und jede weitere Begehung von Meßpunkt 4 - 6 mit Bergschritt, Weg Nr. 4B)

Vergleich der Probanden **ohne** (Gruppe N) mit Probanden mit **HerzKreislaufmedikation** (Gruppe M) beim **Wiederholungsgang**

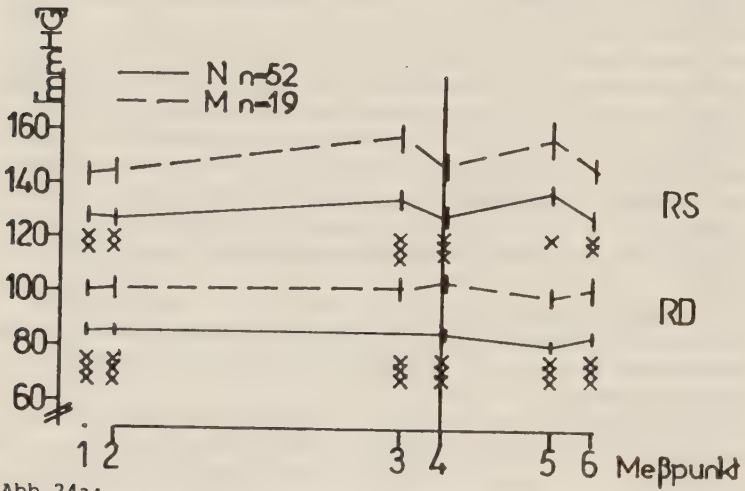


Abb. 24a:
Systolische und diastolische Blutdruckwerte der Probanden

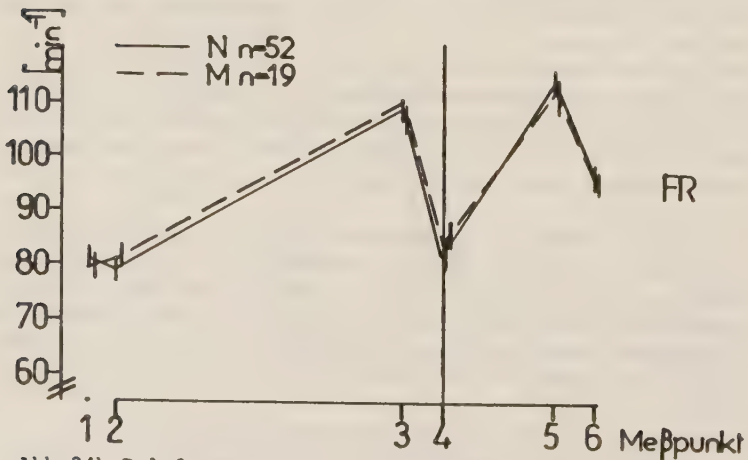


Abb. 24b: Pulsfrequenzwerte der Probanden

Vergleich der weiblichen (w) und männlichen (m) Probanden
beim Wiederholungsgang

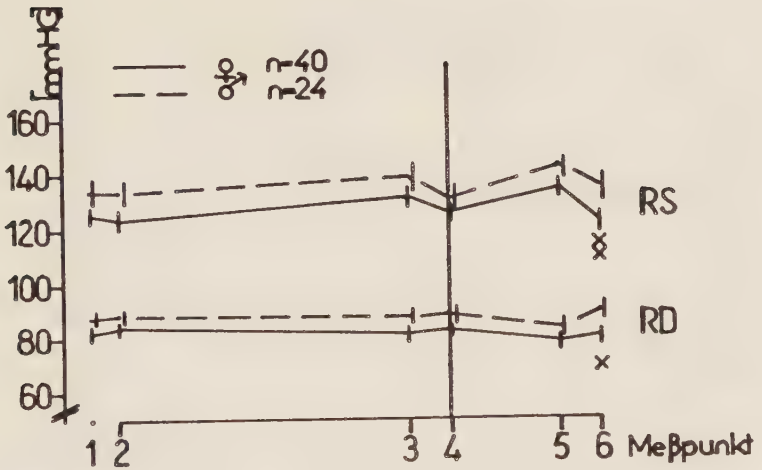


Abb. 25a: Systolische und diastolische Blutdruckwerte der Probanden

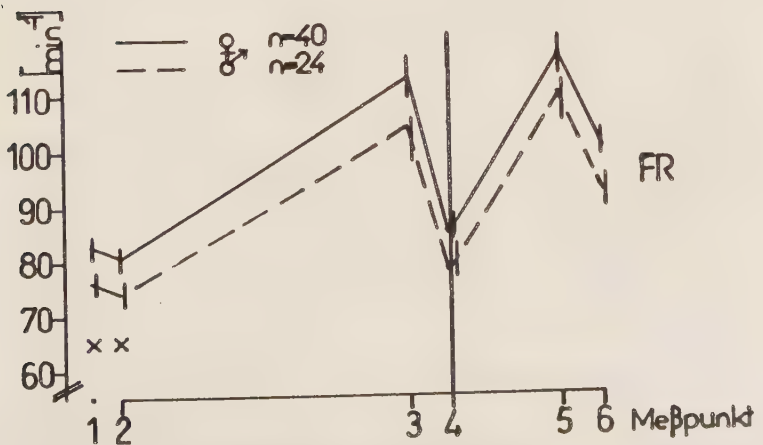


Abb. 25b: Pulsfrequenzwerte der Probanden

Vergleich der Probanden im Alter von 20-40 (Gruppe I), von 41-60 (Gruppe II) und von 61-80 Jahren (Gruppe III) beim Wiederholungsgang

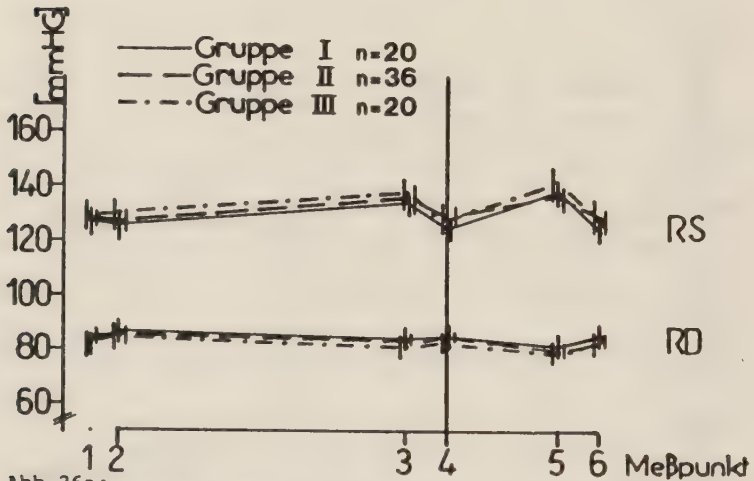


Abb.26a:
Systolische und diastolische Blutdruckwerte der Probanden

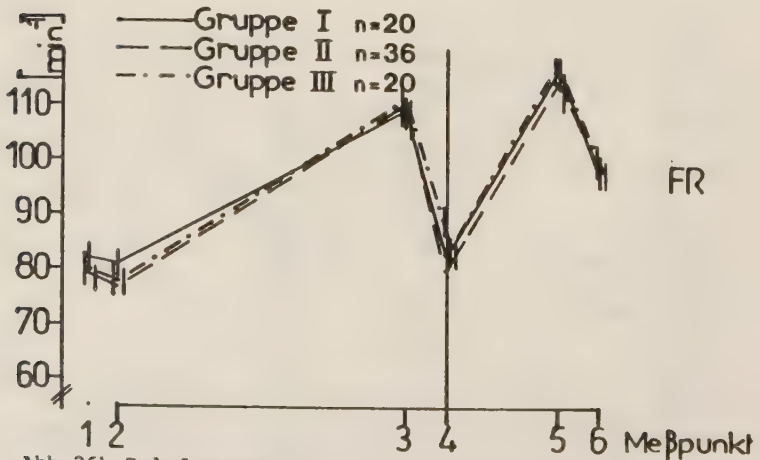


Abb.26b: Pulsfrequenzwerte der Probanden

Vergleich der Erstbegehungen (4N) mit den Wiederholungsgängen (ab Meßpunkt 4 mit Bergschritt = 4B)

Die folgenden Abbildungen 27a-c (S.62-64) zeigen die Zu- bzw. Abnahme der Meßgrößen zwischen den einzelnen Meßpunkten aller Probandengruppen.

Die tabellarische Form der Darstellung ermöglicht es, für je eine Meßgröße das Verhalten auf den einzelnen Streckenabschnitten zwischen Erstbegehung und Wiederholung gegenüberzustellen.

Verfolgt man die **Spalten** der Abb. 27a-c, so kann überprüft werden, ob auftretende Unterschiede bei allen Patientengruppen gleichsinnig oder verschieden ausfallen.

Die Werte der Erstbegehung und Wiederholung stehen in nebeneinanderliegenden **Feldern**.

Unterschiede zwischen den Gruppen sind durch Verfolgung der zugehörigen **Zeilen** zu erkennen.

Die einzelnen **Felder** geben die Differenz der jeweils untersuchten Meßgröße zwischen den Meßpunkten am Anfang und am Ende einer Teilstrecke wieder. Dabei sind negative Zahlen (z.B. Verlangsamung der Herzfrequenz) rechts unten, positive Zahlen links oben in den durch eine Diagonale geteilten Feldern angeordnet.

Im folgenden Text werden nur Vergleiche erwähnt, die entweder bei allen Patientengruppen deutliche Unterschiede zwischen Erstbegehung und Wiederholung aufzeigen oder die im Verhalten einzelner Patientengruppen Besonderheiten zeigen.

Zu Abbildung 24a und b (S.58) und Abbildung 27a-c (S.62-64):

Ein Vergleich mit der Erstbegehung zeigt, daß der Höhenunterschied sich bei der Wiederholung der Begehung (4B) bei Probanden ohne Herzkreislaufmedikation nur noch geringfügig auf das Pulsfrequenzverhalten auswirkt.

Der systolische Blutdruckanstieg ist bei dem Wiederholungsgang von Meßpunkt 2-3 geringer.

Gehen auf dem ebenen Stück (Meßpunkt 3-4) senkt den systolischen Blutdruck bei dem Wiederholungsgang weniger als bei der Erstbegehung.

Der systolische Blutdruck ändert sich im Vergleich zur Erstbegehung nicht.

Der Pulsfrequenzabfall von Meßpunkt 3-4 ist bei dem Wiederholungsgang (4B) deutlicher als bei der Erstbegehung (4N).

Abb. 27a

Zu- bzw. Abnahme des **systolischen** Blutdrucks zwischen den Meßpunkten der **Erstbegehung** (4N) und den **Wiederholungsgängen** (4B)

Gruppe	Meßpunkt 1-2		Meßpunkt 2-3		Meßpunkt 3-4		Meßpunkt 4-5		Meßpunkt 5-6	
	1-4N	2-4B	1-4N	2-4B	1-4N	2-4B	1-4N	2-4B	1-4N	2-4B
M	+1	-5	+13	+13	-9	-14	+20	+11	-19	-9
N	+9	0	+11	+7	-10	-7	+10	+10	-18	-10
W	+1	-1	+11	+8	-6	-6	+9	+9	-15	-15
m	+1	0	+5	+5	-4	-7	+12	+11	+4	-7
1 (20-40J)	-1	-1	+7	+6	-3	-7	+8	+12	-7	-15
2 (40-60J)	+2	0	+10	+7	-7	-7	+4	+8	-7	-7
3 (60-80J)	+1	-7	+10	+5	-5	-5	+11	+7	-5	-15

Abb. 27b

Zu- bzw. Abnahme des diastolischen Blutdrucks zwischen den Meßpunkten der Erstbegehung (4N) und den Wiederholungsängen (4B)

Gruppe	Meßpunkt 1-2 BEGEHUNG 1 = 4N 2 = 4B	Meßpunkt 2-3 BEGEHUNG 1 = 4N 2 = 4B	Meßpunkt 3-4 BEGEHUNG 1 = 4N 2 = 4B	Meßpunkt 4-5 BEGEHUNG 1 = 4N 2 = 4B	Meßpunkt 5-6 BEGEHUNG 1 = 4N 2 = 4B
M	+1 -1	+2 +1	-2 0	+2 -4	+4 -5
N	0 +1	+6 0	+1 -5	+1 -4	+3
W	+2 -1	0 -2	+2 0	0 -4	+2
m	0 +1	+1 -1	+1 +3	-4 -5	+4 -2
1 (20-40J)	+3 +4	0 -5	-4 +1	-3 +2	+5 +4
2 (40-60J)	+1 -2	+2 -3	0 +4	-1 -2	+5 +4
3 (60-80J)	+1 -3	-3 -5	+2 -5	-2 -4	+4

Die Anwendung des Bergschritts ergibt beim Aufstieg zwischen Meßpunkt 4-5 ein Absinken des diastolischen Blutdrucks. Für den systolischen Blutdruck sowie die Pulsfrequenz sind keine Änderungen im Vergleich zur Erstbegehung festzustellen. Beim Wiederholungsgang zeigt sich von Meßpunkt 5-6 ein langsamerer Blutdruckabfall. Das Pulsfrequenzverhalten ist bei beiden Begehungen gleich.

Für Probanden mit Herzkreislaufmedikation (Gruppe M) ergibt sich beim Wiederholungsgang (4B) zwischen Meßpunkt 2-3 ein deutlich höherer Pulsfrequenzanstieg.

Gegenüber der Erstbegehung fällt der systolische Blutdruck von Meßpunkt 3-4 langsamer ab, die Pulsfrequenz dagegen schneller. Die Anwendung des Bergschritts bedeutet für Probanden mit Herzkreislaufmedikation (Gruppe M) gegenüber der Erstbegehung (4N) einen geringeren Blutdruckanstieg.

Von Meßpunkt 4-5 ist ein deutlicheres Absinken des diastolischen Blutdrucks zu erkennen.

Von Meßpunkt 5-6 erfolgt gegenüber der Erstbegehung ein um 10 mmHg langsames Absinken des systolischen Blutdrucks; der diastolische Blutdruck steigt dagegen leicht an.

Die Pulsfrequenz fällt bei Messung 4B im Vergleich zur Messung 4N schneller ab.

Zu Abbildung 25a und b (S.59) und 27a - c (S.62-64):

Bei beiden Gruppen (w und m) zeigt sich bei Vergleich der Erstbegehung mit dem Wiederholungsgang kein verändertes Blutdruck- bzw. Pulsfrequenzverhalten zwischen Meßpunkt 1 und 2.

Weibliche Probanden zeigen beim Wiederholungsgang von Meßpunkt 2 - 3 nur geringe Änderungen der Meßgrößen.

Dagegen fällt bei männlichen Probanden ein schnellerer Pulsfrequenzanstieg auf.

Gehen in der Ebene (Meßpunkt 3-4) wirkt sich beim Wiederholungsgang kaum auf Blutdruck- und Pulsfrequenzverhalten der weiblichen Probanden aus. Männliche Probanden zeigen einen schnelleren Pulsfrequenzabfall im Vergleich zur Erstbegehung.

Die Anwendung des Bergschritts äußert sich bei weiblichen Probanden lediglich in einem deutlicheren diastolischen Blutdruckabfall von Meßpunkt 4-5, bei männlichen Probanden in einem deutlichen diastolischen Blutdruckabfall sowie einem stärkeren Blutdruckanstieg.

Zu Abbildung 26a und b (S.60) und 27a - c (S.62-64):

Probanden im Alter von 20-40 Jahren (Gruppe I) zeigen beim Wiederholungsgang gegenüber der Erstbegehung von Meßpunkt 1-2 einen verminderten Pulsfrequenzabfall.

Von Meßpunkt 3-4 ergibt sich bei beiden Begehungen annähernd identisches Blutdruck- und Pulsfrequenzverhalten.

Die Anwendung des Bergschrittes ergibt von Meßpunkt 4-5 einen stärkeren systolischen Blutdruckanstieg sowie einen diastolischen Blutdruckabfall.

Von Meßpunkt 5-6 zeigt sich ein schnellerer systolischer Blutdruckabfall, der diastolische Blutdruck zeigt im Vergleich zur Erstbegehung (4N) einen leichten Anstieg.

Für das Pulsfrequenzverhalten tritt zwischen Meßpunkt 4-6 keine Änderung ein.

Probanden im Alter von 41-60 Jahren (Gruppe II) zeigen im Vergleich zur Erstbegehung ähnliches Blutdruck- und Pulsfrequenzverhalten zwischen Meßpunkt 1-2.

Bei den Wiederholungsgängen (4B) zeigt sich von Meßpunkt 2-3 ein geringerer systolischer Blutdruckanstieg zugunsten eines stärkeren Pulsfrequenzanstiegs. Das diastolische Blutdruckverhalten ändert sich kaum.

Von Meßpunkt 3-6 sind bei den Wiederholungsgängen (4B) keine deutlichen Unterschiede zur Erstbegehung (4N, Abb. 23a,b) festzustellen. Die Anwendung des Bergschrittes wirkt sich, wie bei allen anderen Probandengruppen, lediglich zwischen Meßpunkt 4-5 aus, wobei ein deutlicher diastolischer Blutdruckabfall im Vergleich zur Erstbegehung (4N) zu verzeichnen ist (Abb. 27b).

Probanden im Alter von 61-80 Jahren (Gruppe III) zeigen bei den Wiederholungsgängen (4B) eine deutliche Änderung ihres Blutdruck- und Pulsfrequenzverhaltens. Der Einfluß der Bergfahrt (Meßp.1-2) bei der Erstbegehung (4N, Abb. 23a,b) im Sinne eines Abfalls aller Meßgrößen entfällt bei den Wiederholungsgängen (4B).

Auch bei dieser Altersgruppe zeigt sich von Meßp. 2-3 (leichte Steigung) ein zur Erstbegehung (4N) geringerer Blutdruckanstieg zugunsten einer intensiveren Pulsfrequenzsteigerung.

Deutlich schneller sinkt die Pulsfrequenz bei den Messungen 4B von Meßpunkt 3-4 (Gehen in der Ebene).

Die Anwendung des Bergschrittes (Meßpunkt 4-5) zeigt, daß der systolische Blutdruckanstieg geringer, die Pulsfrequenz in gleichem Maße stärker ansteigt.

Der Abfall des systolischen Blutdrucks nach Entlastung (Meßp.5-6) erfolgt bei Messung 4B wesentlich schneller.

Zusammenstellung der berechneten Ergebnisse für die Leistung am Kreuzwankweg

Für die Berechnung nach Hofmann/Leiner (Formel S.8) dient die mittlere Gehgeschwindigkeit der Probanden zwischen den Meßpunkten als Grundlage für die durchschnittliche Berechnung der Wattzahl.

Tab.8:

Meßpunkt	sin α	v (km/h)	P (Watt)
2-3	0.070	3.88	61.28
3-4	0.0	1.14	7.54
4-5	0.139	1.38	46.53
5-6	0.156	1.30	48.70

Die Berechnung nach JUNG bzw. HILLE (S.8) ergibt für die einzelnen Meßstrecken unter Berücksichtigung des Körpergewichts folgende Werte:

Tab.9:

Gruppe	Gewicht kg	Leistung (Watt) - Erstbegehung					
		Mp2-3/4%Steig.		Mp4-5/8%Steig.		Mp5-6/9%Steig.	
		Jung	Hille	Jung	Hille	Jung	Hille
N	70,3	44,5	61,5	58,6	46,7	31,2	48,8
M	77,6	49,1	66,7	64,7	50,4	34,5	52,8
w	64,2	40,6	57,1	53,5	43,5	28,5	45,5
m	84,1	53,2	71,4	70,1	53,7	37,4	56,5
I	66,1	41,8	58,4	55,1	44,5	29,4	46,5
II	71,6	45,3	62,4	59,7	47,3	31,8	46,5
III	70,8	44,8	61,8	59,0	46,9	31,5	49,1

Berechnung der Leistung (Watt) aus der Ergometrie (Pulsfrequenzäquivalenz) für die Erstbegehung (4 N), für die Wiederholungsgänge (4B)

Tab.10:

Gruppe	Meßp.2-3		Meßp.4-5		Meßp.5-6		Meßp.3-4 (Ebene)	
	4N	4B	4N	4B	4N	4B	4N	4B
N	65,9	70,5	80,9	80,8	44,7	45,7	16,6	13,4
M	60,8	74,4	73,7	80,8	47,9	44,2	14,6	18,2
w	65,9	72,2	80,9	75,7	44,7	35,5	16,9	18,7
m	50,7	45,4	55,7	55,0	33,5	28,7	5,7	9,5
I	65,1	66,2	81,6	75,6	47,3	46,2	16,8	19,3
II	64,7	72,7	80,6	75,0	42,4	41,8	11,4	8,1
III	70,7	64,3	81,1	79,3	47,1	52,5	36,3	27,5

Ergebnisse der Spiroergometrie

In folgenden Abbildungen sind die während der Spiroergometrie gemittelten Blutdruck- und Herzfrequenzwerte (Abb.28a und b, S.69) sowie die Sauerstoffaufnahme (Abb.28c, S.69) von 5 Probanden dargestellt:

Tab.11 zeigt den nach Alter, Geschlecht und Trainingszustand sehr unterschiedlichen Aufbau der Testgruppe.

Proband	Sex	Alter	Größe	Gewicht	Zusätzl.
1	weibl.	50 J	164cm	56kg	-
2	männl.	22 J	191cm	83kg	xy
3	weibl.	23 J	170cm	64kg	y
4	männl.	49 J	194cm	103kg	y
5	männl.	66 J	178cm	74kg	y

y = treibt regelmäßig Sport; x = starker Raucher

Spiroergometrische Ergebnisse

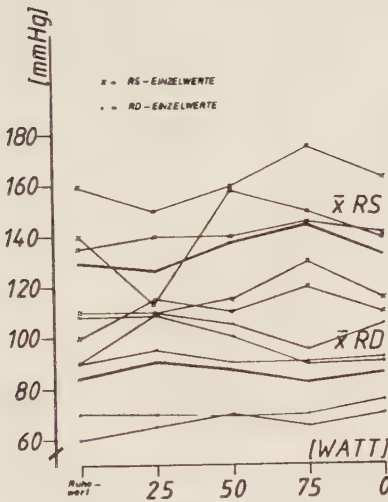


Abb. 28a: Systolische und diastolische Blutdruckwerte der 5 Probanden (Mittel- und Einzelwerte)

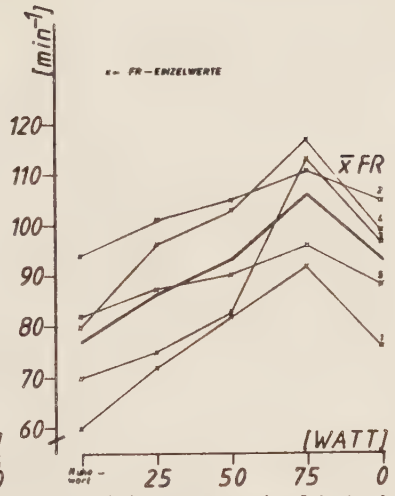


Abb. 28b: Pulsfrequenzwerte der 5 Probanden (Mittel- und Einzelwerte)

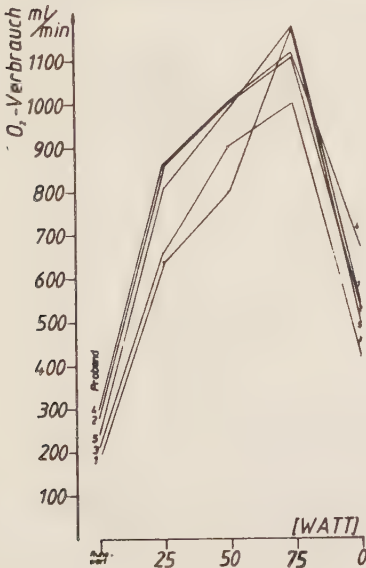


Abb. 28c: Sauerstoffverbrauch der 5 Probanden

Ergebnisse des Douglassackverfahrens

Da die rechnerisch als Pulsäquivalente ermittelten Ergebnisse der Leistungsanforderung aus der Fahrradergometrie nur bedingt auf die Terrainübungswege übertragbar sind, wurden durch die indirekte Energieumsatzbestimmung mit dem Douglassackverfahren diese Ergebnisse überprüft (Berechnungsbeispiel S.25-27)

Abbildung 29 (S.71) gibt den durchschnittlichen Sauerstoffverbrauch wieder.

Dabei liegen bei

- Proband Nr. 1 Meßdaten aus drei Begehungen,
- Proband Nr. 2 Meßdaten aus zwei Begehungen,
- Proband Nr. 3 Meßdaten aus zwei Begehungen,
- Proband Nr. 4 Meßdaten aus vier Begehungen,
- Proband Nr. 5 Meßdaten aus vier Begehungen vor.

Abbildung 30 (S.71) zeigt dagegen die Streubreite der Sauerstoff- und Pulsfrequenzwerte der Probanden 1 und 5.

Abbildung 31 zeigt die Abhängigkeit des Sauerstoffverbrauchs vom Körpergewicht der einzelnen Probanden am Kreuzwanklweg von Meßpunkt 4-5.

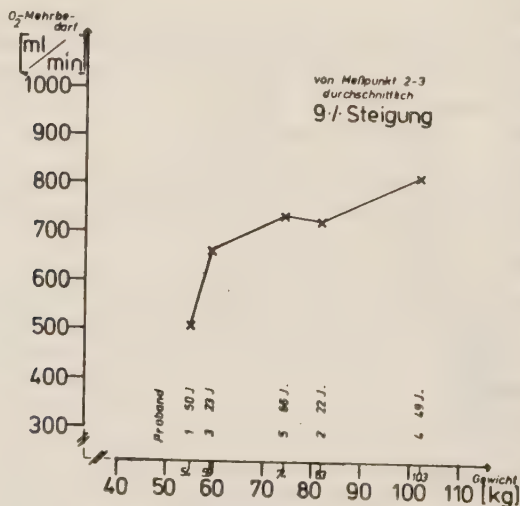


Abb.31: Abhängigkeit des Sauerstoffverbrauchs vom Körpergewicht

Indirekte Umsatzbestimmung am Kreuzwankweg

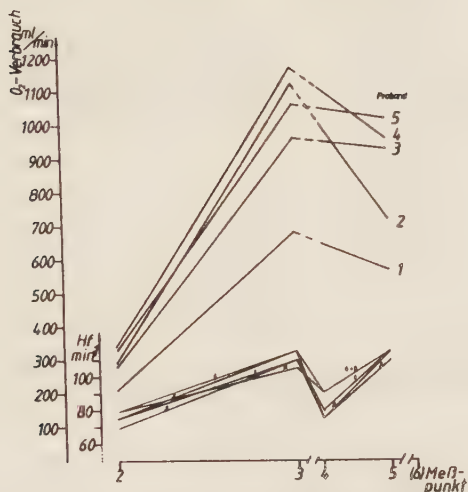


Abb.29: Mittlerer Sauerstoffverbrauch der 5 Probanden

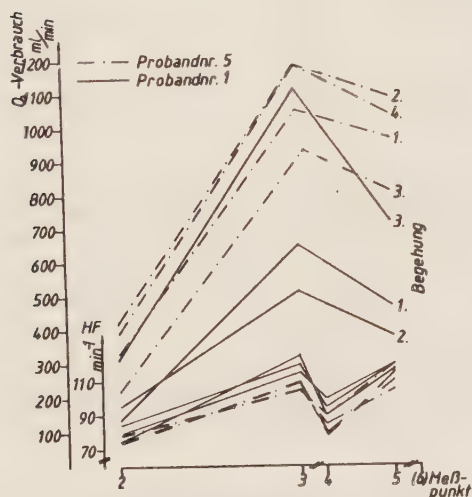


Abb.30: Streubreite der Sauerstoff- und Pulsfrequenzwerte anhand der Einzelbegehungen der Probanden 1 und 5

Wird der durchschnittliche Sauerstoffverbrauch von Meßpunkt 2-3 und von Meßpunkt 4-5 den entsprechenden Wattzahlen der Ergometrie gegenübergestellt, so ergeben sich folgende Leistungswerte:

	O ₂ -Verbrauch (ml/min)	Wattzahl	O ₂ -Verbrauch (ml/min)	Wattzahl
	Meßpunkt 2-3	Ergom.	Meßpunkt 4-5	Ergom.
	4% Steigung		9% Steigung	
Proband 1	680	32	570	22
Proband 2	1020	54	720	20
Proband 3	960	71	935	57
Proband 4	1170	87*	960	47
Proband 5	1060	59	1020	54
	Mittel = 60		Mittel = 40	

*Durch Extrapolation ermittelte Wattzahl

Die Ergebnisse der indirekten Umsatzbestimmung mit dem Douglassackverfahren zeigen:

- das längere Wegstück(529m) mit einer geringeren Steigung (4%) und einer Schrittgeschwindigkeit von 80 Sr/min, erfordert eine Leistung, die um 8 Watt höher angesetzt werden muß,
- als jene für das kürzere (215m) Wegstück mit steilerer Steigung (9%) und geringerem Schrittempo (60 Sr/min).

Ein Vergleich der mittleren Wattzahlen mit den nach HOFMANN/LEINER (S.67), nach JUNG (S.67), nach HILLE (S.67) und aus der Ergometrie berechneten Leistung für das Wegstück von M 2-3 und M 4-5 für Probanden verschiedener Gruppen (N, M, w, m, I, II, und III) mit den Ergebnissen der indirekten Umsatzbestimmung an 5 Probanden zeigt, daß die Berechnungen der Leistung

nach JUNG: von Mp 2 - 3 um 22% zu niedrig,
von Mp 4 - 5 um 13% zu hoch,

nach HILLE: von Mp 2 - 3 um 7% zu hoch,
von Mp 4 - 5 um 2% zu hoch,

nach HOFMANN/LEINER: von Mp 2 - 3 um 5% zu hoch,
von Mp 4 - 5 identisch

nach Pulsfrequenzäquivalenz zur Ergometrie:
von Mp 2 - 3 und von Mp 4 - 5

nahezu identisch bestimmt werden.

Steptest (Osterfelderbergbahn)

Vergleich der kardialen Reaktion im Tal und in der Höhe

Vergleich der **Steptestergebnisse** der Probanden ohne (Gruppe N) und mit Herzkreislaufmedikation (Gruppe M) im **Tal** (a, b, c) und in der **Höhe** (A, B, C)

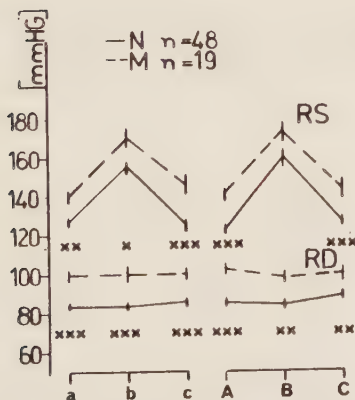


Abb. 32a: Systolische und diastolische Blutdruckwerte der Probanden

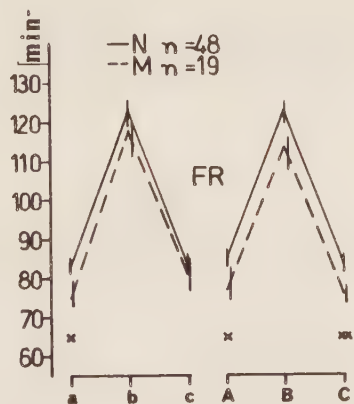
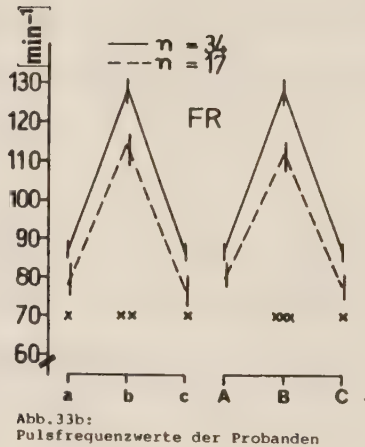
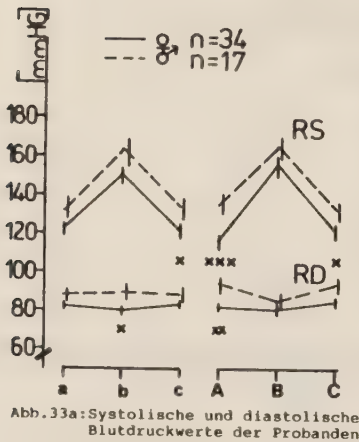
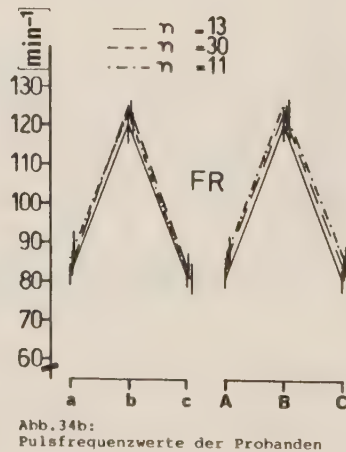
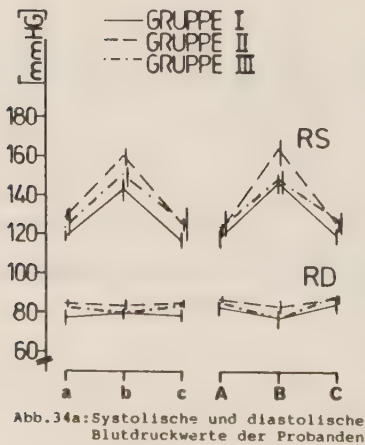


Abb. 32b: Pulsfrequenzwerte der Probanden

Vergleich der **Steptestergebnisse** der weiblichen (w) und männlichen (m) Probanden im Tal und in der Höhe



Vergleich der **Steptestergebnisse** der Probanden im Alter von 20-40 (Gruppe I), von 41-60 (Gruppe II) und von 61-80 Jahren (Gruppe III) im Tal und am Berg



Zu Abbildung 32a und b (S.73)

Auch der Steptest zeigt die wesentlich höheren Blutdruck- und die niedrigeren Pulsfrequenzwerte der Probanden mit Herzkreislaufmedikation (Gruppe M).

Wird ein Vergleich zwischen Tal- (a,b,c) und Bergmessung (A,B,C) angestellt, zeigen beide Probandengruppen für sich keine Änderung des Blutdruck- und Pulsfrequenzverhaltens.

Zu Abbildung 33a und b (S.74)

Wie bei den vorhergehenden Tests zur Leistungsmessung liegen auch bei dem Steptest die Blutdruckwerte der männlichen Probanden (m) höher, die Pulsfrequenzwerte niedriger als jene der weiblichen Probanden (w). Eine erkennbare Änderung des Blutdruck- bzw. Pulsfrequenzverhaltens ist bei der Bergmessung weder für weibliche (w) noch männliche (m) Probanden zu verzeichnen.

Zu Abbildung 34a und b (S.74)

Die in den vorhergehenden Untersuchungen beschriebenen Unterschiede des Blutdrucks und Pulsfrequenz gelten auch bei diesem Test für alle Altersgruppen. Eine deutliche Änderung des Blutdruck- und Pulsfrequenzverhaltens ist jedoch auch für diese Probanden zwischen Tal- und Bergmessung nicht zu verzeichnen.

Ermittelte Leistung (Watt)

Die Berechnung der Leistung (Watt) (Pulsfrequenz-Äquivalenz S.30) nach 3minütigem Treppensteigen im Tal und am Berg stellt Tabelle 12 dar:

(Tab.12)

		N	M	w	m	1	2	3
Gewicht	kg	70.3	77.6	64.2	84.1	66.1	71.6	70.8
Größe	cm	167.2	167.9	162.9	177.0	173.7	165.6	165.6
Alter	J	49.6	54.5	49.6	49.7	30.6	49.6	67.0
Leistung (Watt)		98	92	109	86	94	103	94
Meßp. b								
Leistung (Watt)		97	82	111	80	92	100	101
Meßp. B								

6. Diskussion

6.1 Kritik der Methoden und Bewertungskriterien

Verzerrung der Ergebnisse durch methodische, zufällige und systematische Fehler.

Definitionen:

1. Methodische Fehler: (z.B. falsche Eichung)
2. zufällige Fehler: (sind nicht vermeidbar, jedoch statistisch kontrollierbar)
3. systematische Fehler: (mit statistischen Methoden nicht kontrollierbar).

Blutdruckmessung

Ergebnisse der indirekten Blutdruckmessung nach Riva-Rocci ermöglichen auch unter Belastungsbedingungen das Verhalten des arteriellen Druckes zu beurteilen. Dabei sollte die Lage der Arterie durch vorherige Palpation (besonders bei Terraintest schlecht durchzuführen) exakt bestimmt werden, da bei entferntem Aufsetzen des Stethoskops die gemessenen Werte zu niedrig sind. Sie werden auch dann zu niedrig bestimmt, wenn der Druck schneller als 2-3 mmHg/sec abgefallen wird oder umgekehrt (70).

Zu hohe Meßergebnisse können vor allem beim Terraintest und Steptest durch den Einfluß des hydrostatischen Druckes des herabhängenden Armes verursacht sein. Sie werden bei der Beurteilung der Ergebnisse berücksichtigt.

Besonders problematisch ist die Beurteilung des diastolischen Blutdruckes, da besonders nach Belastung Korotkoff-Geräusche noch gehört werden, obwohl der Manschettendruck schon auf 0 abgefallen ist, das sogenannte 0-Phänomen: Im Falle der Belastung verstärkt sich die intravasale Strömung, so daß bereits die Kompression der Armarterie durch das Stethoskop Korotkoff-Geräusche erzeugen kann, obwohl der Manschettendruck bereits bei 0 liegt oder aber wesentlich unter den intraarteriellen Druck abgefallen ist.

In den vorliegenden Untersuchungen zeigen die Begehungen des Kreuzwanklwegs von Meßpunkt 4-5 (Steilstück: Abb. 21-26, S.53-55, 58-60) und der Steptest nach 3 min Belastung (Abb.32-34, S.73-74) einen deutlichen Abfall des diastolischen Blutdruckwertes, unterschiedlich ausgeprägt bei den Probandengruppen, wobei das oben genannte Phänomen eine Erklärung sein kann.

Fahrradergometrie

Das Vorkommen erheblicher Abweichungen zwischen angezeigter und tatsächlicher Leistung bei mechanisch gebremster Fahrradergometer wurde von HOLLMANN und PUHLMANN (32) nachgewiesen. Um Meßfehler so gering als möglich zu halten, wurde das für diese Untersuchungen benützte Fahrradergometer physikalisch geeicht.

Die Vorschläge zur Durchführung fahrradergometrischer Untersuchungen sind vielfältig.

Während LANGE-ANDERSON (51) eine unterschiedliche Eingangsstufe für Frauen (25 Watt) und Männer (50 Watt) als sinnvoll erklärt haben, begannen wir unsere Belastungstests jeweils mit 25 Watt.

Die Leistung steigerten wir nicht, wie von o.g. Autoren vorgeschlagen, alle 2 min um 25 Watt, sondern alle 3 Minuten.

HOLLMANN und VENRATH (32) belegten, daß eine Belastungsdauer von 3 min als minimale Einstellzeit erforderlich ist, um vor allem im Rahmen spiroergometrischer Untersuchungen wichtige Parameter, wie Atemminutenvolumen und Atemäquivalent zu messen.

Weiter sind wir den Forderungen der WHO nachgekommen, Blutdruck und Puls in der zweiten Hälfte der Belastungsstufe eines Belastungstests zu messen.

Gefahr der Fahrradergometrie

Während bei kardial gesunden Probanden ASTRAND (2) keine wesentlichen Sicherheitsmaßnahmen zur Durchführung von Belastungstests fordern, beschreibt SCHERER und KALTENBACH (71) bei Herzpatienten vitalbedrohliche Zwischenfälle und Todesfälle. Sie erfordern zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen, die von uns eingehalten wurden.

1. Ruhe-EKG ohne Risikozeichen,
2. Anwesenheit eines Arztes,
3. Apparative Reanimationsmöglichkeiten,
4. Berücksichtigung der Kontraindikationen,
5. Kontrolle bis 1/2 Stunde nach Belastung.

Spiroergometrie

Die offene Spiroergometrie, wie auch das Douglassackverfahren bieten im Gegensatz zum geschlossenen Meßsystem einerseits den Vorteil der einfacheren Durchführbarkeit (nur ein einzelner ableitender Schlauch, der den Patienten wenig belästigt), andererseits birgt diese Methode die Gefahr folgender Fehler:

1. Keine Kontrolle der Dichtigkeit der Atemmaske
2. Unbemerkte Verluste von Atemgas, die zu niedrige Resultate bedingen (70)

Die alleinige Messung der Sauerstoffaufnahme im submaximalen Bereich ermöglicht keine Unterscheidung von Gesunden und Patienten, da letztere ein reduziertes Herzzeitvolumen durch stärkere Ausschöpfung der arteriovenösen Sauerstoffdifferenz kompensieren können (70).

Eine klinisch diagnostische Trennung kann erst dann stattfinden, wenn man die Sauerstoffaufnahme pro Herzschlag ermittelt und sie in Beziehung zum Herzzeitvolumen setzt. Im Rahmen der Untersuchungen mit dem Douglassackverfahren am Kreuzwankweg nahmen nur kardial gesunde Probanden teil.

Belastungs-EKG

Von der richtigen Beurteilung des Belastungs-EKG hängt weitgehend die Diagnose und damit auch der Therapieplan eines kardial erkrankten Patienten ab. Die unter Digitalistherapie häufig gefundenen falsch positiven Belastungs-EKGs konnten im Rahmen dieser Untersuchungen nicht beobachtet werden.

Weitere Ursachen, bei denen im Belastungs-EKG Krankheitszustände übersehen werden:

1. technische Unzulänglichkeiten
2. Ableitungspunkte ungünstig gewählt
3. Stabilität der Null-Linie fehlt
4. Einfluß vor allem durch Betablocker oder Nitropräparate, die vor dem Test nicht abgesetzt wurden.

Steptest

Die Nachteile des Steptests gegenüber der Fahrradergometrie sind leicht zu erkennen durch

1. schlechte Abstufbarkeit
2. Undurchführbarkeit einer gleichzeitigen Blutdruckmessung
3. Unmöglichkeit gleichzeitiger EKG-Messung.

Bewertungskriterien

Blutdruckverhalten

Die richtige Beurteilung des Blutdruckverhaltens während einer Belastung ermöglicht, die Sportfähigkeit der Patienten, vor allem hypertoner Koronarpatienten, zu werten. Dabei ist die Berücksichtigung einiger Faktoren wichtig, die je nach Kenntnissen des Untersuchers Fehlbeurteilungen bedingen.

1. Labile Hypertoniker zeigen unter Ruhebedingungen normale Blutdruckwerte, weisen aber unter Belastung ein überschießendes Druckverhalten auf. Hypertone Reaktionen müssen bei der Beurteilung der Leistungsfähigkeit berücksichtigt werden.

Es sei hier angeführt, daß die Gefahr der Entwicklung einer Ruheshypertonie bei labilen Hypertonikern nach WILSON et al.(69) um das 2.7fache erhöht ist. Die richtige Beurteilung des Blutdruckverhaltens unter Belastung ist deshalb sehr wichtig.

Bei keinem unserer Probanden wurde eine unbekannte Hypertonie durch die fahrradergometrischen Untersuchungen diagnostiziert.

2. Halbquantitative Urteile über ein erhöhtes Druckverhalten ermöglicht die altersabhängige Faustregel nach ROST et al.(69). Für jedes Alter und für jede Wattstufe kann der zulässige obere systolische Blutdruckwert definiert werden.

$$RR_{syst} = 120 + 0.4 (\text{Watt} + \text{Alter})$$

Keiner unserer Probanden überschritt den systolischen Grenzblutdruckwert während der Belastungsstufen.

An dieser Stelle sei auf die Verwendung grafischer Darstellungen hingewiesen (69), an denen je nach Alter des Patienten und Wattstufe das Überschreiten des oberen normalen Grenzwertes abgelesen werden kann. Sie sind für künftige Untersuchungen zu empfehlen.

3. Ein zu geringer Anstieg des Belastungsblutdrucks sollte an
 - Hypotoniker und
 - Patienten unter betablockierender Medikation denken lassen.

Durch Voruntersuchungen waren im Rahmen dieser Untersuchungen bereits 5 Probanden als Hypotoniker diagnostiziert, 10 Probanden standen unter betablockierender Medikation. Ein zu geringer Anstieg des Belastungsblutdrucks konnte weder bei diesen noch bei anderen Probanden beobachtet werden.

Trotz der zahlreichen Richtlinien zur Beurteilung des Blutdrucks kann jedoch nur eine Aussage zur Krankheitsdiagnose, nicht aber zur Leistungsfähigkeit eines Probanden gemacht werden.

Blutdruckamplitude und Amplitudenfrequenzprodukt

In der vorliegenden Arbeit wurden beide Meßgrößen zur Beurteilung der Belastung im Gelände und bei der Ergometrie herangezogen. Als Maß zur Bestimmung des Herzzeitvolumens bzw. der Herzarbeit sind sie umstritten (69,2). Das Produkt aus Schlagfrequenz und Blutdruckamplitude als Maß für das Herzzeitvolumen heranzuziehen, ist nach ROST (69) ungenau, da die mit Fehlern behaftete Blutdruckmessung mit in die Berechnung eingeht.

Mit Fehlern ist weiterhin die Festlegung der Blutdruckamplitude als Maß für das Schlagvolumen behaftet, da das Schlagvolumen während einer Belastung weitgehend konstant zunimmt, die Blutdruckamplitude dagegen nicht konstant zunimmt.

Da die Beurteilung der Leistungsparameter für unsere Untersuchungen genügt, werden diese Ergebnisse nicht diskutiert.

Leistung, Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme

Bei unterschiedlichem Wirkungsgrad ist die Pulsfrequenz zur Sauerstoffaufnahme proportional, nicht aber zur erbrachten Leistung. Die am Kreuzwankweg auftretenden Differenzen der Leistungswerte, berechnet nach Gleichung (d) und jenen, ermittelt aus dem Sauerstoffverbrauch auf den einzelnen Wegstrecken, kann damit teilweise erklärt werden.

Bei der Fahrradergometrie besteht zum Gehen in alpinem Gelände ein Unterschied im Wirkungsgrad. Wie oben geschil-
dert, ist aber ein Proportionalität zwischen Herzfrequenz und erbrachter Leistung im Falle eines unterschiedlichen Wirkungsgrades nicht mehr gegeben.

Die Berechnung der Leistung für den Kramerplateauweg (Gehen in der Ebene) und Kreuzwankweg (Gehen in alpinem Gelände) nach Gleichung (d) beruht aber auf der Annahme eines identischen Wirkungsgrades. Abweichungen zu den Ergebnissen, ermittelt durch den Sauerstoffverbrauch auf den einzelnen Wegstrecken des Kreuzwankwegs sind daher unvermeidbar.

Auswertung

Die vor und nach einer durchschnittlich 4wöchigen Durchführung des Testprogramms durch Fahrradergometrie ermittelten Leistungsparameter werden nicht nur von den Terralnübungen, sondern auch von den regelmäßig verordneten physikalischen Anwendungen beeinflusst (Tab.1, S.10).

Weiter wird die eindeutige Beurteilung vor allem der Ergebnisse der Fahrradergometrie am Ende des Testprogramms (EE) dadurch eingeschränkt, daß die Probanden in unterschiedlichem Ausmaß, ohne Kontrolle der Leistungsparameter, die Wege des Testprogramms und andere zusätzlich begingen.

Die Leistungswerte während und am Ende des Kuraufenthalts können nur dann annähernd richtig beurteilt werden, wenn man den Einfluß der Parameter derjenigen Probanden, berücksichtigt, die z.B. die Fahrradergometrie am Ende des Testprogramms nicht mehr durchgeführt haben.

6.2 Diskussion der Ergebnisse

Beurteilungskriterien der kardialen Belastbarkeit

Nach BERG et al. (7) lassen sich positive Auswirkungen der Bewegungstherapie anhand folgender Meßdaten ermitteln:

- Senkung der Herzfrequenz,
- Senkung des systolischen Blutdrucks,
- Senkung des Blutdruckfrequenzproduktes in Ruhe und unter Belastung

(Im Rahmen der Darstellung der Ergebnisse haben wir auf die Beschreibung des Blutdruckfrequenzproduktes und der Blutdruckamplitude verzichtet).

Ausdruck einer Verringerung der Herzarbeit und Verbesserung der Koronarreserve sind zum einen die Erniedrigung der kardialen Druckverhältnisse und zum anderen eine Bradykardie.

Fahrradergometrie

Probanden ohne und mit Herzkreislaufmedikation

Probanden **ohne** Herzkreislaufmedikation

In Hinblick auf eine Leistungsverbesserung interessiert der Vergleich der Ergometrieergebnisse vor (EA) und nach Durchführung des Testprogramms (EE) (Abb.6a/b, S.35).

Deutlich erniedrigt ist bei der Ergometrie nach Beendigung des Testprogramms der diastolische Blutdruck (eine Eigenschaft, die auch bei allen anderen Probandengruppen festzustellen ist). Mit steigender Belastung (50, 75 Watt) ist auch für den systolischen Blutdruck eine minimale Senkung zu verzeichnen.

Der Pulsfrequenzkurvenverlauf ändert sich nur unbedeutend. Die Ungleichheit der Probandenzahl (bei der EA n=49 und der EE n=38), wirft die Frage nach dem eventuell Einfluß der 9 Probanden auf, die an der EE aus zeitlichen Gründen nicht mehr teilgenommen haben. Die Kontrolle des Einflusses der Blutdruck- und Pulsfrequenzwerte dieser 9 Probanden zeigt jedoch keine Abweichung vom durchschnittlichen Puls- bzw. Blutdruckverlauf bei der EA.

Probanden mit Herzkreislaufmedikation

Deutlich höhere Blutdruck- und Pulsfrequenzwerte zeigt im Vergleich zu Probanden ohne Herzkreislaufmedikation bei der Ergometrie vor Durchführung des Testprogramms (EA). Dies deutet auf die unterschiedlich zu beurteilende Belastbarkeit dieser Probandengruppe hin (Abb. 4a/b, S.34).

Es soll an dieser Stelle erwähnt werden, daß das durchschnittliche Gewicht der Probanden mit Herzkreislaufmedikation um ca. 10% über dem der Probanden ohne Herzkreislaufmedikation lag.

Beim Vergleich der Probanden mit Herzkreislaufmedikation vor und nach Durchführung des Testprogramms (Abb. 7a/b, S.35) kann nach einem 4wöchigen Kuraufenthalt ein deutlicher Leistungserfolg verzeichnet werden.

Die Ergebnisse der 3 Probanden, die an der Ergometrie nach Durchführung des Testprogramms (EE) nicht mehr teilnahmen, haben keinen Einfluß auf diese Gesamtbilanz.

Bei der EE waren von 16 Probanden 11 Hypertoniker. Sie verdeutlichen die blutdruck- und pulssenkende Wirkung der Bewegungstherapie, wobei der Einfluß des psychosozialen Milieuwechsels, des veränderten Tagesrhythmus sowie einer diätetischen Gewichtsreduktion (5 Probanden 750 kcal-Kost, 2 Probanden 1000 kcal-Kost) nicht zu vernachlässigen ist.

Neben diesen, aus zahlreichen Publikationen (8,21,50) bekannten Ergebnissen stellt sich die Frage, in wie weit die Höhenlage des Kurortes bzw. der Terrainübungswege eine stetige Tonusabnahme der Arterien im Verlauf einer 4wöchigen Kur bewirkt.

Es liegen Auswertungen vor über den Effekt von Terrainübungswegen in ca. 2000 m Höhe bei Hypertonikern, bei denen Blutdrucksenkungen in Ruhe, bei Belastung und Erholung von 20 mmHg auftraten. Der diastolische Blutdruck sank in Ruhe von 14 mmHg bei Belastung um 9 mmHg und der Erholungsphase um 12 mmHg (29).

Neuere Veröffentlichungen (49) führen die Pulsfrequenzabnahme vor allem auf eine Trainingsökonomisierung der Herzarbeit (bzw. des Kreislaufs) zurück. Damit bestätigen diese Ergebnisse jene von KÖNIG (50), der z.B. für Infarktpatienten eine hochsignifikante Pulssenkung in Ruhe um -6.7% und bei submaximaler Belastung von -5.4% analysierte.

Da unseren Probanden eine nur 4wöchige Kur angeboten war, können wir nach Untersuchungen von KÖNIG (50) davon ausgehen, daß die bei unseren Ergebnissen nur als Trend erkennbaren Veränderungen im Rahmen einer 6wöchigen Kur als signifikante Änderungen darstellbar wären.

Männliche und weibliche Probanden

Probanden **ohne** Herzkreislaufmedikation wurden auf geschlechtsspezifische Befunde untersucht. Deutlich höhere Blutdruckwerte zeigen männliche Probanden im Gegensatz zu weiblichen Probanden vor (Abb. 8a, S.38) und nach (Abb.9a, S.38) Durchführung des Testprogramms. Für männliche und weibliche Probanden ist nach Durchführung des Testprogramms (Abb. 10a und 11a, S.39) lediglich ein Absinken des diastolischen Blutdrucks zu verzeichnen. Die höheren Blutdruckwerte männlicher Probanden könnten von Faktoren beeinflusst sein, die vor allem männliche Probanden betreffen, wie z.B.

- Adipositas
- Nikotin
- Alkohol
- psychosoziale Belastung.

Zu den Einflußfaktoren Alkohol und psychosoziale Belastung können keine exakten Angaben gemacht werden. Waren die Probandengruppen in ihrer Zahl nicht gleich, so doch in ihrem durchschnittlichen Gewicht, das für beide Gruppen im Normbereich lag, und einem Alter von 49 Jahren.

Über den Einfluß des Nikotinabusus läßt sich aufgrund der fragwürdigen Angaben der Probanden keine Aussage machen. Danach hätten 5 weibliche und nur 2 männliche Probanden geraucht.

Als Ursache der Erhöhung der systolischen Blutdruckwerte männlicher Probanden durch Nikotin arteriosklerotisch veränderte Gefäße zu vermuten, kann nicht belegt werden. Unterschiede der Blutdruckwerte beider Geschlechter sind in der Literatur beschrieben (31,32,70).

Es darf als bekannt vorausgesetzt werden, daß Frauen für eine gegebene Belastung höhere Pulsfrequenzen aufweisen, die maximal erreichbaren Frequenzen jedoch für beide Geschlechter gleich sind (70). Auffallend sind die Ergebnisse, vergleicht man männliche (Abb. 10a, S.39) und weibliche (Abb. 11a, S.39) Probanden vor und nach Durchführung des Testprogramms. Dabei erhöhen sich die Pulsfrequenzwerte weiblicher Probanden, auch wenn der Einfluß der Meßergebnisse von 6 Probanden, die bei der Ergometrie nach Durchführung des Testprogramms (EE) nicht mehr teilgenommen haben, auf die Mittelwerte berücksichtigt wird. Gleiches gilt für männliche Probanden, von denen 5 an der EE nicht mehr teilgenommen haben.

Im Gegensatz zu weiblichen Probanden zeigen männliche Probanden eine durchschnittliche Pulsfrequenzsenkung um 13/min, die aber teils durch das Fehlen der Werte der 5 Probanden, die nicht mehr an der EE teilgenommen haben, bedingt ist. Eine Kontrolle zeigt, daß diese 5 Probanden von dem aus Abb.9b (S.38) ersichtlichen mittleren Pulsfrequenzverlauf einen um durchschnittlich 10/min höheren Pulsfrequenzwert aufweisen und damit die Mittelwerte beeinflusst hätten. Dies bedeutet, daß männliche Probanden nur minimal niedrigere Pulsfrequenzwerte bei der EE erreichten.

Weibliche Probanden zeigen bei allen Untersuchungen niedrigere Blutdruck- und höhere Pulsfrequenzwerte. Die unterschiedliche Leistungsfähigkeit beider Geschlechter beschreiben ROST et al.(70) für Terrainübungen sowie der Laufbandergometrie und setzen für Frauen die Pulsfrequenz und den Energieverbrauch bei gleicher Laufgeschwindigkeit um 10% höher an als bei Männern. BASSEY (4) konnte die Abhängigkeit der Herzfrequenz von Geschlecht bei submaximaler Belastung aufzeigen und beschrieb für Frauen um 4.4/min höhere Pulsfrequenzen als bei Männern, gehen sie in der Ebene mit freigewähltem Schrittempo.

Er begründet dies mit einem prozentual höheren Fettanteil des weiblichen Körpers und der damit verbundenen Mehrbelastung des Organismus. Die geschlechtsspezifischen Unterschiede sind nicht mehr nachvollziehbar, nimmt man bei beiden Geschlechtern den prozentualen Fettanteil als Bezugsgröße.

Erst bei maximaler Belastung beschreibt MELLOROWICZ (58) wie auch VALENTIN und VENRATH(47) eine Sauerstoffaufnahme für Frauen, die annähernd 70% der männlichen Sauerstoffkapazität ist. HOLLMANN (34) beschreibt für weibliche Personen in Ruhe wie bei submaximaler Leistung einen niedrigeren Blutdruck, ein niedrigeres Herzvolumen sowie höhere Pulsfrequenz.

Probanden unterschiedlichen Alters

Die Beurteilung der Leistungsparameter vor und nach Beendigung des Testprogramms der Probanden zwischen 20 bis 40 Jahren (Abb.14a/b, S.42) und älter als 61 Jahre (Abb.16a/b, S.43) darf nicht anhand der vorliegenden Kurvenbilder erfolgen, da die bei beiden Gruppen fehlenden Probanden bei der Ergometrie am Ende des Testprogramms die Mittelwerte von Blutdruck und Puls entscheidend beeinflusst hätten. Gingen sie mit in die Darstellung der EE ein, näherten sich die Werte jenen der Ergometrie vor Durchführung des Testprogramms.

Grundsätzlich gilt für die Fahrradergometrie, das Terrainübungsprogramm sowie den Steptest, daß mit zunehmendem Alter die Blutdruckwerte ansteigen, die Pulsfrequenzwerte abfallen. Diese Ergebnisse sind bekannt (58,70). Für den Terraintest müssen Ergebnisse von DUNIN und MIKULIC (15) berücksichtigt werden, betrachtet man die Ergebnisse der Begehung des Kramerplateauwegs und der ersten Begehung des Kreuzwanklweges besonders der Probanden älter als 61 Jahre. Sie beobachteten, daß ältere Menschen mit wesentlich kürzerer Schrittlänge und höherem Tempo wandern als jüngere. Ihre Herzfrequenzrate ist deshalb vor allem beim Gehen (Abb.19b, S.48, 23b, S.55, 26b, S.60) deutlich höher anzusetzen. Da im Rahmen dieser Untersuchungen das Schrittempo durch ein Metronom vorgegeben wurde, kann nur der Einfluß der Schrittlänge in Betracht gezogen werden. Die Schrittlänge wiederum ist schlecht beurteilbar, da die Probanden mindestens zu zweit die Wege begingen. Damit erfolgte sicherlich eine gegenseitige Anpassung der Schrittlänge.

Terraintests

Kramerplateauweg

Für alle Probanden wurde bei einem Schrittempo von 60/min ein Absinken des systolischen und diastolischen Blutdrucks verzeichnet. Obwohl von den meisten Probanden als unerträglich langsam bezeichnet, wird die blutdrucksenkende Wirkung durch veränderte Hämodynamik des Herzkreislaufsystems beim langsamen Gehen (Abb.17-20, S.46-49) im Gegensatz z.B. zu einer 25 Watt-Leistung auf dem Fahrradergometer beobachtet (Abb.4-16, S.34-43). Ein Blutdruck- und Pulsfrequenzanstieg wird dagegen bei einem Schrittempo von 80/min verzeichnet, d. h. die kardiopulmonale Belastung nimmt zu.

Die Begehung des Kramerplateauwegs ist ein geeignetes Kriterium zur Belastbarkeitseinstufung des Probanden zu Beginn der Bewegungstherapie.

Kreuzwanklweg

Vergleich der Leistungswerte Pulsfrequenz und Blutdruck bei der ersten Begehung und den Wiederholungsgängen

Sowohl aus den Abbildungen 24 - 26, S.58-60 wie auch aus den Tabellen 27a - c, S.62-64 konnten keine wesentlichen Unterschiede zwischen der Erstbegehung und den Wiederholungsgängen registriert werden. Dabei ist die Beurteilung erschwert, da die Probandenanzahl bei beiden Begehungen nicht übereinstimmen.

Da in Hinblick auf bewegungstherapeutische Aspekte vor allem die individuelle Änderung der Leistungsparameter bei den einzelnen Wiederholungsgängen interessiert, sind in Tab.13 (S.87) die Pulsfrequenz- und Blutdruckwerte von Probanden aufgeführt, die den Weg dreimal (5 Probanden) und den Weg viermal (2 Probanden) gegangen sind.

Tabelle 13 (S.87) spiegelt die intrapersonellen Schwankungen der Werte wieder und macht deutlich, daß Änderungen der Leistungsparameter im Sinne einer Leistungsverbesserung auch bei dritten und vierten Wiederholungsgängen nicht zu verzeichnen sind.

Tabelle 13: Intrapersonelle Schwankungen der Leistungswerte für den Kreuzwankiweg

Proband Geschl. Alter	Meßpunkt 1 Begehung				Meßpunkt 2 Begehung				Meßpunkt 3 Begehung				Meßpunkt 4 Begehung				Meßpunkt 5 Begehung				Meßpunkt 6 Begehung				
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
171	RRsys. 38 J dias. Puls	110	130	140	105	120	140	120	120	140	120	120	110	140	115	140	150	120	110	120	120	110	120	120	
		80	75	80	65	80	85	80	80	75	80	75	80	80	75	75	80	70	80	85	80	85	80		
		110	85	85	82	95	78	140	120	130	140	110	98	80	80	140	110	128	120	100	108	120	100	108	
151	RRsys. 57 J dias. Puls	120	125	115	115	120	115	125	115	115	125	110	120	105	125	125	120	110	125	135	110	90	90	80	
		85	100	80	90	85	80	85	95	75	85	75	90	80	75	90	90	75	90	90	80	90	80	80	
		70	62	53	65	60	58	108	102	102	108	102	75	87	55	110	105	105	80	95	75	80	95	75	
149	RRsys. 43 J dias. Puls	145	130	120	130	125	120	155	155	155	155	160	155	145	160	150	170	135	140	155	120	140	155	120	
		105	90	80	80	85	100	80	75	85	80	75	90	90	85	80	45	85	90	55	85	90	55	85	
		45	90	90	85	82	87	135	140	130	130	130	108	87	85	145	150	130	125	115	108	125	115	108	
150	RRsys. 52 J dias. Puls	130	115	115	110	130	115	125	115	130	130	130	125	135	125	125	110	145	125	110	125	125	110	125	
		85	85	80	80	105	80	95	75	70	75	70	95	100	85	85	75	80	95	75	75	95	75	75	
		90	85	80	92	85	65	100	115	115	115	115	70	84	80	140	130	130	100	102	102	100	102	102	
127	RRsys. 51 J dias. Puls	140	125	140	140	120	130	145	145	120	120	120	140	130	125	145	130	135	130	130	110	130	130	110	
		85	75	80	80	70	75	90	75	80	80	75	85	75	80	75	75	85	75	75	80	75	75	80	
		90	90	90	82	85	90	110	120	110	110	110	85	82	90	115	120	115	100	100	100	100	100	100	
149	RRsys. 43 J dias. Puls	145	130	120	130	125	120	155	155	155	155	160	155	145	160	150	170	135	140	155	120	140	155	120	
		105	90	80	80	85	100	80	75	85	80	75	90	90	85	80	45	85	90	55	85	90	55	85	
		95	90	90	85	82	87	135	140	130	130	130	108	87	85	145	150	130	125	115	108	125	115	108	
139	RRsys. 66 J dias. Puls	110	105	120	105	110	100	105	95	110	105	100	130	115	100	100	95	130	110	115	130	100	100	115	105
		50	55	60	60	50	50	60	55	50	60	60	50	60	55	55	40	55	50	55	65	60	55	65	
		100	88	82	90	90	83	95	85	90	95	110	90	85	90	100	115	110	130	90	90	100	120	120	
143	RRsys. 23 J dias. Puls	160	145	150	165	140	160	150	185	150	155	150	170	145	145	150	150	155	160	155	185	140	145	155	170
		110	110	110	120	110	120	115	130	110	115	110	125	105	115	110	130	110	100	100	130	110	115	115	130
		60	80	70	70	60	75	65	70	85	100	95	85	80	75	80	70	95	105	105	105	80	85	80	105
Mittelwerte	RRsys. dias. Puls	132	125	127	135	122	125	124	140	135	135	130	150	133	130	132	122	140	140	145	157	126	131	121	137
		88	85	81	90	89	85	86	92	83	81	80	92	87	86	81	92	80	68	79	90	85	75	83	95
		82	83	80	80	78	80	78	77	112	116	115	110	89	83	80	85	125	124	119	117	102	100	97	112

Bergschritt

Der Versuch, den Probanden eine Gehtechnik anzulernen, von der die Meinung vertreten wird, daß sie bei vorwiegender Anwendung an steilen Wegstücken durch vermehrten Einsatz der Muskelpumpe das Herzkreislaufsystem weniger beansprucht, stößt bei der Beurteilung der Ergebnisse auf Schwierigkeiten.

Die Kürze des zu begehenden Stückes (ca. 7min) sowie die Vorgabe des Schrittempos 60/min ermöglichte auch dem zumelst nicht alpin Geübten schon bei der ersten Begehung die Überwindung des steileren Wegstückes ohne größere Anstrengung. Vor allem das geringere Schrittempo zwang zu ruhigem, aufrechtem Gehen, wie man es von Bergsteigern gewohnt ist (28). Daß die Muskelpumpe bei gesunden wie auch bei jüngeren Probanden ohne spezielle Gehtechnik funktioniert, darf angenommen werden. Bei Anwendung dieses Schrittes kann jedoch ein eindeutiges Absinken des diastolischen Blutdrucks bei Überwindung des Steilstückes nachgewiesen werden. Dies kann ein Hinweis, bei fast gleichbleibendem Herzfrequenzanstieg (Abb. 27c, S.64) auf einen vergrößerten venösen Rückstrom sein. Vorteilhaft ist dies vor allem für koronar erkrankte Probanden, bei denen ein besseres enddiastolisches Füllungsvolumen zur Steigerung der Leistungsfähigkeit führt.

Inwieweit andere Veränderungen, wie langsamerer systolischer Blutdruckanstieg bei Belastung und schnelleres Absinken der Pulsfrequenz bei Erholung durch diese Gehtechnik bedingt sind, muß offen bleiben, da sich die Messungen auf der Wegstrecke von Meßpunkt 1-4, die ja immer in normaler Gehtechnik begangen wurde, bei den Wiederholungsgängen im gleichem Sinne als die Messungen auf der Wegstrecke von Meßpunkt 4 - 6 ändern (Abb. 27a-c, S.62-64).

Leistungsparameter und Höhenunterschied

Pulsfrequenz

Der Einfluß der Überwindung des Höhenunterschiedes zeigt für Probanden ohne Herzkreislaufmedikation einen bei der ersten Begehung dieses Weges deutlichen Pulsfrequenzabfall, der bei Probanden im Alter von 21 - 40 Jahren mit 12/min am deutlichsten ist (Abb. 23a/b, S.55). Bei den Wiederholungsgängen, tritt dieses Absinken nicht mehr so ausgeprägt auf (Abb. 26, S.60).

Diese Pulsfrequenzabnahme ist in mehrfacher Weise bedeutend. Zum einen sind Untersuchungen bekannt (24), die eine Bradykardie erst bei der Überwindung einer Höhendifferenz von mindestens 1000 m und einer Höhe ab 2000 m ü.M. finden. Die Bradykardie wird als vagotone KreislaufEinstellung gedeutet (43), die in den ersten Stunden auftritt.

Daß diese vagotone KreislaufEinstellung nicht auf die Überwindung eines Höhenunterschiedes bezogen werden muß, zeigen die Untersuchungen nach einer Bergfahrt mit der Osterfelderbahn.

Dabei wurden bei keinem der Probanden Pulsfrequenzänderungen zwischen Tal- und Bergmessung festgestellt.

Während bei der Begehung des Kreuzwanklweges die Talmessung der Leistungsparameter im Raum, die Bergmessung jedoch im Freien abgenommen wurde, wurden diese Werte sowohl vor als auch nach der Bergbahnfahrt mit der Osterfelderbahn in einem Raum gleicher Temperatur (18 Grad C) bestimmt.

Es liegt der Schluß nahe, daß die Pulsfrequenzabnahme in der Höhe vorwiegend durch den Temperaturunterschied zwischen Talmessung und Messung in der Höhe zustandekommt.

Die unterschiedlichen Ergebnisse des Pulsfrequenzverhaltens zwischen der Messung im Tal und in der Höhe bei der Bergfahrt zum Kreuzwanklweg und jener mit der Osterfelderbergbahn können aber durch die ungleichen Vorbedingungen der beiden Untersuchungen bedingt sein. So nahmen die Probanden erst an einer Bergfahrt zum Kreuzwanklweg teil, ehe sie die Untersuchungen, die mit der Osterfelderbergbahnfahrt verbunden waren, absolvierten.

Weiter war die Anfahrtszeit von der Klinik zur Talstation der Hausbergbahn sehr kurz (ca. 7min), während sie zur Talstation der Osterfelderbergbahn ca. 20 min betrug.

Vor der Hausbergbahnfahrt waren im Gegensatz zur Osterfelderbergbahnfahrt keine Untersuchungen angesetzt. Da die Dauer der Bergfahrt mit der Hausbergbahn kürzer als jene der Osterfelderbergfahrt war, standen die Probanden sicherlich unter stärkerer Anspannung als vor und nach der Bergfahrt mit der Osterfelderbahn.

Der stärkere Pulsfrequenzabfall nach der Bergfahrt mit der Hausbergbahn darf deshalb als Entspannungsreaktion gedeutet werden. Dies kann umso mehr bestätigt werden als die Probanden bei den Wiederholungsgängen am Kreuzwanklweg (4B) einen geringeren Pulsfrequenzabfall nach der Bergbahnfahrt zeigten.

Blutdruck

Unterschiedlich stark fällt eine systolische Blutdrucksenkung (besonders der Probanden mit Herzkreislaufmedikation und Probanden, älter als 61 Jahre) nach Überwindung des Höhenunterschieds von 500 m bei der Fahrt mit der Hausbergbahn auf.

Im Gegensatz dazu ist bei der Überwindung des Höhenunterschieds mit der Osterfelderbergbahn keine Änderung zu verzeichnen.

Stepptest

Es sind keine eindeutigen Änderungen des Blutdruck- und Pulsfrequenzverhaltens in der Ruhe-, Belastungs- und Erholungsphase nach der Bergbahnfahrt mit der Osterfelderbahn zu erkennen.

Die Leistungsparameter ändern sich trotz des Höhenunterschieds von 1300 m nicht, werden die Messungen unter gleichen Bedingungen (Temperatur) vorgenommen.

Ermittelte Leistung nach Gleichungen (S.8)

Da HOFMANN/LEINER (30) ein Körpergewicht von 70 kg für die Ermittlung der Wattzahlen voraussetzen und das durchschnittliche Gewicht unserer Probanden mit nur geringer Abweichung damit übereinstimmt, läßt sich die gute Annäherung der Wattzahlen an die Ergebnisse der Gastoßwechselmessung erklären.

Ermittelte Leistung nach Gleichung (d)

Der Versuch für den einzelnen Probanden aufgrund bestimmter Parameter (Herzfrequenz an Meßpunkt X, durchschnittliche Herzfrequenz bei einer Belastung von 50 Watt und Mittelwert des Leistungspulsindex aus den Ergometriedaten vor und nach Durchführung des Testprogramms) die Leistung für die Terrainübungswege zu ermitteln, liegt nahe.

Jedoch beeinflussen die anschließend diskutierten Faktoren das Rechenergebnis so stark, daß die Ermittlung der Leistung (Watt) nach Gleichung (d) im Hinblick auf künftige Anwendungsmöglichkeiten nur bedingt möglich ist.

Die Pulsfrequenz an einem definierten Meßpunkt (FR_{MPX})

Der Streckenverlauf des Kreuzwanklwegs (Abb.2, S.20) weist starke Steigungsschwankungen auf, wobei die an den Meßpunkten 3, 5 und 6 ermittelten Pulsfrequenzwerte nur Ausdruck der Belastung sein können, die der Proband in den letzten Minuten vor der Meßabnahme ausgesetzt war. Begründet liegt dies in der schnellen Pulsfrequenzanpassung an die jeweilige Belastungssituation. So werden z.B. zwischen Meßpunkt 2 und 3, wie auch zwischen Meßpunkt 4 und 5 sicherlich zu hohe Pulsfrequenzwerte abgelesen, da das Wegstück am Ende steiler ansteigt als im übrigen Wegabschnitt. Dieser Pulsfrequenzwert fließt aber als angenommener mittleren Pulsfrequenzwert auf diesem Wegstück in die Ermittlung der Leistung (Watt) nach Gleichung (d) ein.

Den Pulsfrequenzverlauf zwischen den Meßpunkten zeigt Abbildung 35.

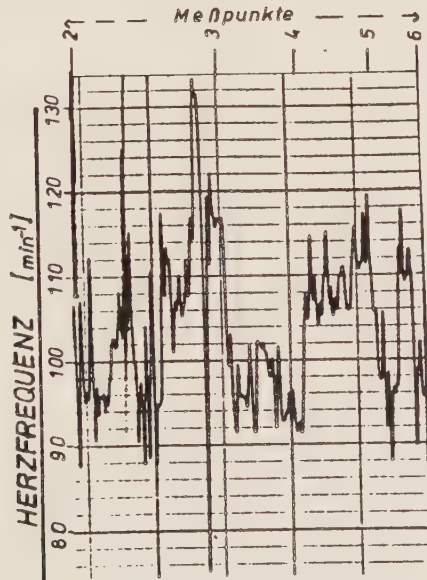


Abb.35:Pulsfrequenzregistrlerung:
Proband 3; 24.8.82; 9.00 Uhr
(Medilog Monitor/Recorder).

(Die extremen Ausschläge sind Bewegungsartefakte)

Der Versuch, z.B. anstelle des Sauerstoffverbrauchs, der den Energiebedarf auf einem definierten Streckenabschnitt wiedergibt (S.25-27), die Pulsfrequenz an einem vorgegebenen Meßpunkt als Berechnungsgrundlage der Leistung (Watt) für ein bestimmtes Wegstück heranzuziehen, kann auf einer Strecke mit so unterschiedlicher Steigung keine exakten Ergebnisse liefern.

Pulsfrequenzwert bei 50 Watt (FR_{50})

Die Pulsfrequenz bei einer Leistung von 50 Watt bei der Fahrradergometrie als Bezugsmaß für die Ermittlung der Wattzahl heranzuziehen, ist gerechtfertigt, da eine für den Terrainübungsweg Kreuzwankweg abzusehende Leistung dieser Größenordnung zu erwarten ist.

Regressionsgerade zwischen Leistung und Pulsfrequenz (BM_{50})

Die aus der Ergometrie vor und nach Durchführung des Testprogramms ermittelte Regressionsgerade zwischen Pulsfrequenz und Leistung kann nur dann als Leistungspulsindex (LPI) bezeichnet werden, wenn man einen konstanten Wirkungsgrad voraussetzt, denn nur in diesem Fall ist die Pulsfrequenz der erbrachten Leistung wie auch der Sauerstoffaufnahme proportional.

Für die Ermittlung der Leistung auf den Terrainübungsweegen gilt diese Proportionalität zwischen erbrachter Leistung und Pulsfrequenz aufgrund des unterschiedlichen Wirkungsgrads zur Fahrradergometrie nicht mehr. Bei wechselndem Wirkungsgrad bleibt die Proportionalität zwischen Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme gewährleistet (s.30), nicht jedoch zwischen Herzfrequenz und Leistung.

Nach Gleichung (d) wird die Leistung jedoch in der Annahme der Proportionalität zwischen Herzfrequenz und Leistung ermittelt.

Ruhepulsfrequenz (FR_{Mu})

Die Ruhepulsfrequenz vor Beginn der Terrainübungswege, wie sie z.B. Gleichung (e) und (f) (S.31) verwendet wurde, kann als Ursache der großen Streubreite der ermittelten Wattergebnisse in Betracht gezogen werden. Dies gilt vor allem für den Kramerplateauweg, der sowohl beim Hinweg (60 Sr/min) als auch beim Rückweg (80 Sr/min) geringe Leistungen erfordert. Die Schwankungen der Ruhepulsfrequenz wirkt sich dann besonders stark auf die nach Gleichung (e) und (f) ermittelte Wattzahl aus und verursacht die große individuelle Streubreite der Wattergebnisse.

Indirekte Umsatzbestimmung (Douglassackverfahren am Kreuzwanklweg)

Um die ermittelten Leistungswerte nach Gleichung (d) zu kontrollieren, wurden im Führjahr 1983 mit 5 Probanden (15 Begehungen) indirekte Energieumsatzbestimmungen für den Kreuzwanklweg durchgeführt. Bestimmt wurde der Sauerstoffverbrauch in Ruhe sowie für die Wegstrecken von Meßpunkt 2 - 3 und 4 - 5.

Deutlich ist eine Abhängigkeit des Sauerstoffverbrauchs vom Körpergewicht zu erkennen (s. Abb. 31, S.70). Diese Abhängigkeit vom Körpergewicht konnte für die berechnete Leistung nach Gleichung (d) nicht nachgewiesen werden. Das ist verständlich, denn im Gegensatz zum Laufen, bei dem das gesamte Körpergewicht in die Leistung mit eingeht, wird bei der Fahrradergometrie (Faktor FR_{M50} nach Gleichung (d)) ein Großteil des Körpergewichts vom Sattel getragen und bleibt infolgedessen unberücksichtigt. Es sei angemerkt, daß die Regressionsgeraden Watt (nach Gleichung (d)) gegen Alter und Geschlecht (weitere Einflußfaktoren auf den Sauerstoffverbrauch) berechnet für Probanden mit und ohne Herzkreislaufmedikation für die Untersuchungen am Kramerplateauweg, am Kreuzwanklweg und dem Steptest keine Abhängigkeiten ergaben.

Durch Übertragung der Mittelwerte des Sauerstoffverbrauchs, der für die einzelnen Teilstrecken des Kreuzwanklwegs ermittelt wurde, auf die Ergometriedaten konnte eine gute Übereinstimmung mit den durch indirekte Energieumsatzbestimmung und durch Gleichung (d) ermittelten Wattzahlen gefunden werden. Wird jedoch der ermittelten Wattzahl die entsprechende Pulsfrequenzzahl zugeordnet, so sind die Pulsfrequenzwerte im Gelände höher als jene bei der Ergometrie.

Auch hier, wie bei der Diskussion des Parameters (FR_{MPX}) sollte berücksichtigt werden, daß die Pulsfrequenzen an Meßpunkt 3 und 5 Höchstwerte auf dem entsprechenden Wegstück darstellen.

Die Behauptung von HILLE (29), daß bestimmte Stoffwechselleistungen beim Gehen mit einem um fast 20% niedrigerem Pulsfrequenzanstieg verarbeitet werden, muß auch in die Überlegungen mit einbezogen werden. Denn im Gegensatz zur Sitzstellung der Fahrradergometrie kann eine ökonomischere Herzarbeit durch verbesserte Schlagvolumennutzung beim Gehen gegenüber dem Radfahren angenommen werden.

Somit können die eingangs aufgeführten Fragen wie folgt beantwortet werden:

- Die über Ergometriedaten ermittelten und teilweise durch Messung des Sauerstoffverbrauchs im Gelände kontrollierten Leistungsanforderungen für den Kramerplateauweg und den Kreuzwankweg ergeben folgende Werte (Höchstanforderung):

für Probanden **ohne** Herzkreislaufmedikation

Kramerplateauweg:	24.0 Watt
Kreuzwankweg:	80.9 Watt

für Probanden **mit** Herzkreislaufmedikation

Kramerplateauweg:	21.0 Watt
Kreuzwankweg:	80.8 Watt

- Eine Auswirkung der Anwendung einer bestimmten Gehtechnik (Bergschritt an Wegen stärkerer Steigung) konnte nicht bestimmt werden.
- Auf spirometrische Untersuchungen sowie indirekte Energieumsatzbestimmungen kann im Kurbetrieb verzichtet werden, denn die Abschätzung des durchschnittlichen Energiebedarfs auf Terrainübungswegen kann durch belastungsergomietrische Daten relativ genau erfolgen.
- Die Beobachtung von JUNGSMANN (43), daß deutliche Pulsfrequenzerniedrigungen nach Überwindung eines Höhenunterschieds mit der Bergbahn auftreten, kann bestätigt werden. Es handelt sich dabei nicht um spezielle Höhenklimaeffekte, sondern um die Auswirkung des Temperaturunterschiedes zwischen Tal und Höhe.

7. Folgerungen für den Ausbau von Übungsprogrammen

Die Belastungsuntersuchungen im Tal und am Berg nach einer Fahrt mit der Osterfelderbergbahn haben gezeigt, daß es nicht gerechtfertigt ist, vorwiegend kardial erkrankten Probanden Kurterrainübungswege in größerer Höhe (bis 2000 m ü.M.) und Steigungen vorzuenthalten.

Ein Terrainübungsweg in ca. 2000 m Höhe wurde in Garmisch-Partenkirchen (1983/1984 Wank) festgelegt und seine Leistungsanforderungen an den Probanden überprüft.

Um im Rahmen des leistungssteigernden Gehtrainings zusätzliche Angaben für Wiederholungsbegehungen zu ermöglichen, sind weitere Untersuchungen mit einem Schrittempo von 70 Sr/min notwendig (Kreuzwanklweg von Meßpunkt 4 - 6, stelles Stück; Riessersee-Rundweg; Kreuzeckweg).

Je nach Wetterbedingungen können Änderungen des Terrainübungsprogrammes angeboten werden.

Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden im August/September 1982 relativ konstante Lufttemperaturwerte gemessen (9 Uhr: 13 Grad C, 16 Uhr: 19 Grad C). Werden die Ergebnisse von HAAS (21) und SCHUH (78) für den Kramerplateauweg, der von diesen bereits in den Wintermonaten ausgetestet wurde, mit einbezogen, so genügt es, den unterschiedlichen Klimabedingungen im Sommer und im Winter dadurch Rechnung zu tragen, die zeitliche Durchführung der Terrainübungsgänge im Winter vormittags um 10 Uhr und nachmittags um 15 Uhr durchzuführen.

Schlechtwetterbedingungen, wie z.B. massive Regenfälle erlauben bei den nicht täglich durchgeführten Terrainübungsprogrammen ein Verschieben auf einen anderen Tag.

8. Stufenplan zur Bewegungstherapie in Garmisch-Partenkirchen

Unter Berücksichtigung der in der Dissertationsarbeit von HAAS (21) vorliegenden Ergebnisse für die Begehung des Riesserseewegs (ca. 798-810 m ü.M.) und des Kreuzeckwegs (ca. 1630-1700m ü.M.) kann für den Kurort Garmisch-Partenkirchen im Rahmen eines leistungssteigernden Gehtrainings folgendes Stufenprogramm entworfen werden:

Leistungssteigerndes Gehtraining als Modell:
Kurort Garmisch-Partenkirchen

Tag n.d. Ankunft	Bewegungstherapie
2.	Fahrradergometrie: Bewältigung ohne Komplikationen bis C B A 75 Watt 50 Watt 25 Watt
3.	A 1. Kramerplateauwegs 60 Sr/min
5.	A 2. Kramerplateauwegs 70 Sr/min
7.	A 3. Kramerplateauwegs 80 Sr/min
9.	B 1. Riessersee-Rundwegs 60 Sr/min
11.	B 2. Riessersee-Rundwegs 70 Sr/min
13.	B 3. Riessersee-Rundwegs 70 Sr/min
15.	C 1. Kreuzwanklwegs von Meßp.2-4 80 Sr/min von Meßp.4-6 60 Sr/min
17.	C 2. Kreuzwanklwegs von Meßp.2-4 80 Sr/min von Meßp.4-6 70 Sr/min
19.	C 3. Kreuzwanklwegs von Meßp.2-4 80 Sr/min von Meßp.4-6 70 Sr/min
21.	C 1. Kreuzeckwegs 60 Sr/min
24.	C 2. Kreuzeckwegs 70 Sr/min
27.	C 3. Kreuzeckwegs 70 Sr/min
28.	Fahrradergometrie bis 100 Watt

9. Zusammenfassung

Die vorliegenden Untersuchungen (Sept./Okt. 1982) bilden eine Möglichkeit Terrainübungswege mit unterschiedlicher Leistungsanforderung für den Kurort Garmisch-Partenkirchen zu standardisieren, um sie im Rahmen der Prävention und Rehabilitation nutzen zu können.

68 Probanden nahmen an diesen Untersuchungen teil, wobei die Probanden an den einzelnen Übungen beliebig oft teilnehmen konnten.

Der Aufbau des Testprogramms sah folgendermaßen aus:

1. Fahrradergometrie vor dem Testprogramm (höchste Belastungsstufe 75 Watt)
2. Terraintests
 - 2.1 Gehen in der Ebene
Begehen des Kramerplateauweges bei vorgegebener Schrittgeschwindigkeit (Hinweg 60 Sr/min, Rückweg 80 Sr/min)
 - 2.2 Gehen in alpinem Gelände
Begehen des Kreuzwanklwegs bei vorgegebener Schrittgeschwindigkeit von Meßpunkt 2-4 80 Sr/min
von Meßpunkt 4-6 60 Sr/min
3. Doppelter Master-Stepptest vor und nach der Fahrt mit der Osterfelderbergbahn (Höhenunterschied 1300m)
4. Fahrradergometrie nach Beendigung des Testprogramms

Die Auswertung erfolgte unter Berücksichtigung folgender Merkmale:

Gruppe kardial erkrankte,

Gruppe kardial gesunde Probanden (diese unterteilt nach Alter und Geschlecht)

Ergebnisse:

- Über Ergometriedaten wurden die Leistungsanforderungen für den Kramerplateauweg und den Kreuzwanklweg ermittelt. Sie wurden durch spiroergometrische Untersuchungen sowie indirekte Energieumsatzbestimmungen überprüft.
- Die Auswirkungen einer bestimmten Gehtechnik (Bergschritt an Wegen stärkerer Steigung) konnten nicht bestimmt werden.
- Auf spiroergometrische Untersuchungen sowie indirekte Energieumsatzbestimmungen kann im Kurbetrieb verzichtet werden.
- Deutliche Pulsfrequenzerniedrigungen nach Überwindung eines Höhenunterschieds mit der Bergbahn sind keine speziellen Höhenklimaeffekte, sondern die Auswirkung des Temperaturunterschiedes zwischen Tal und Höhe.
- Die Ergebnisse dieser Untersuchungen wurden dem Modell: "Bewegungstherapie in Garmisch-Partenkirchen" zugrunde gelegt.

Anhang

In den folgenden Tabellen sind die Blutdruckamplituden (A) und Pulsfrequenzamplitudenprodukte der Ergometrie vor (EA) und nach (EE) Durchführung des Testprogramms sowie der Erstbegehung (4N) und Wiederholungsgängen (4B) des Kreuzwanklwegs aufgeführt, dabei bedeutet

- (N) Probanden ohne Herzkreislaufmedikation,
- (M) Probanden mit Herzkreislaufmedikation,
- A Differenz des systolischen und diastolischen Blutdrucks
- P Differenz des systolischen und diastolischen Blutdrucks mal Pulsfrequenz

Ergometrie	Ruhewert	25 Watt	50 Watt	75 Watt	Erholungswert
A EA (N)	38.5	43.1	52.7	67.2	43.9
A EE (N)	41.9	48.6	55.3	70.2	46.4
A EA (M)	49.2	52.8	61.0	76.3	51.3
A EE (M)	43.7	51.5	62.1	70.9	50.0
P EA (N)	3071	3858	5132	7652	3723
P EE (N)	3243	4360	5460	7918	3882
P EA (M)	4216	4998	6334	8853	4628
P EE (M)	3368	4527	5863	7834	4088

Kreuzwankl- weg	Meßp.1	Meßp.2	Meßp.3	Meßp.4	Meßp.5	Meßp.6
A 4N (N)	40.0	40.5	48.8	42.0	50.2	43.0
A 4B (N)	43.2	41.2	50.5	43.5	46.9	44.1
A 4N (M)	48.4	44.0	51.2	42.5	64.6	44.6
A 4B (M)	42.6	43.4	55.7	54.0	57.8	45.7
P 4N (N)	3261	3124	5318	3496	5776	4138
P 4B (N)	3525	3235	5604	3574	6569	4294
P 4N (M)	3750	3487	5339	3530	7219	4409
P 4B (M)	3355	3496	6225	3767	6635	4448

10. Literaturverzeichnis

- 1 Ascoop, C.,
Simons, M.,
Egmont, W.,
Bruschke, A. Comparlsons to findings with coronary
arteriolography
Am. Heart J. 82:609 (1971)

- 2 Astrand, P.,
Cuddy, T.,
Saltin, B.,
Stenberg, J. Cardiac output during submaximal and
maximal work
J. Appl. Physiol. 19:268 (1964)

- 3 Astrand, P.,
Rohdahl, K. Textbook of Work Physiology
McGraw-Hill Book Company, New York
(1977)

- 3 Bassey, E. Age, Inactivity and some physiological
responses to exercise
Gerontology 24:66-77 (1978)

- 4 Bassey, E.,
Macdonald, J
Patrick, J. Factors affecting the heart rate during
self-paced walking
Eur.J.Appl.Physiology, 48:105-115 (1982)

- 5 Beckmann, P. Die Terrainkur im Rahmen der Übungsbe-
handlung. Wesen, Organisation und Indi-
kation. Theraplewoche 15:692 (1965)

- 6 Berg, A.,
Zöllner, H.,
Stelger, J.,
Stippig, J.,
Keul, J. Ergometrie bei Patienten mit koronarer
Herzkrankheit. Einfluß der Belastungsart
auf verschiedene Leistungsfunktionsgrößen
Med. Universitätsklinik Freiburg, Abtlg.
Sportmedizin (unveröffentl. Manuskript)

- 7 Berg, A.,
Keul, J.,
Stippig, L.,
Stippig, J.,
Huber, G. Effekte eines ambulanten Trainingspro-
gramms auf Herz, Kreislauf und Stoff-
wechsel bei Patienten mit koronarer
Herzkrankheit
Herz/Kreisl. 11:236-242 (1979)

- 8 Berg, A.,
Samek, L.
Kell, J. Die Belastbarkeit des Koronarpatienten
Kriterien für die Teilnahme an ambulan-
ten Koronargruppen
Dtsch. Ärztebl. Ausg.B, 79:31-36 (1982)

- 9 Börger, H. Ekg-Information
Steinkopff, Darmstadt (1980)
- 10 Buchwalski, R. Ist jeder Herzinfarktpatient trainierbar?
Herz/Kreislauf 11:622-628 (1977)
- 11 Christmann, Th. Ergometrisch definierte Herz-Kreislaufbe-
lastung von Kurpatienten beim Bergaufgehen
Med. Diss. München (1974)
- 12 Cumming, G., The calibration of bicycle ergometer
Alexander, W. Canad.J.Physiol.Pharmacol. 46:917 (1968)
- 13 Das, R., Preliminary observations on parameters
Ganguli, S. of human location
Ergonomics 22:1231-1242 (1979)
- 14 Deschwanden v.,J. Der Mensch im Klima der Alpen. Bioklima-
Schram, K. tologie, Physiologie des Höhenklimas,
Thams, J. Klimatherapie
Verlag Hans Huber, Bern,Stuttgart (1968)
- 15 Dunin, J., The influence of graded exercise on the
Miculic, V. oxygen consumption, pulmonary ventilation
and heart rate of young and elderly men
Q.J.exp.Physiol. 41:442-452 (1956)
- 16 Erikssen, J., Seasonal variation in work performance
Rodahl, K. and heart rate response to exercise
Eur.J.Appl.Physiol. 42:133-140 (1979)
- 17 Franz, J., Der Einfluß einer Salureticum-Beta-
Lohmann, F. Rezeptorenblocker-Kombination auf über-
höhte Belastungsblutdrucke
Med. Klin. 74:396 (1974)
- 18 Franz, I., Methodische und leistungsphysiologische
Mellerowicz, H. Grundlagen der Ergometrie
Herz 7:29-41 (1982)
- 19 Goßner, E. Krankheit und Sport. Georg Thieme Verlag
Stuttgart New York (1984)
- 20 Grönwald, B. "Sport" als Prävention: Ist Bewegungs-
mangel als Risikofaktor gesichert?
Therapiewoche 30:5205 (1980)

- 21 Haas, M. Untersuchungen zur Herz-Kreislaufbelastung im Rahmen der Bewegungstherapie auf Terrainübungswegen
Diss. med. (1985)
- 22 Haas, W.,
Reif, G. Bergwandern, eine Ausdauersportart Untersuchungen zur Leistung und Belastbarkeit älterer Bergwanderer. Prakt. Sport-Traumalog. u. Sportmed. 2:9-13 (1985)
- 23 Halhuber, C. Rehabilitation in ambulanten Koronargruppen. Springer Verlag,
Berlin Heidelberg New York (1980)
- 24 Halhuber, J.,
Inama, K. Der Herzkreislaufkranke im Hochgebirgsklima. Dtsch. Zentrale f. Volksgesundheitspflege e.V. Frankfurt/Main (1975)
- 25 Heinrich, K.,
Ulmer, H.
Stegemann, J. Sauerstoffaufnahme, Pulsfrequenz und Ventilation bei Variation von Tretgeschwindigkeit und Tretkraft bei aerober Ergometerarbeit
Pflügers Arch. 298:191 (1968)
- 26 Hildebrandt, JR.,
Winn, R.,
Hildebrandt, J. Cardiorespiratory responses to sudden release of circulatory occlusion during exercise
Respiration Physiol. 38:83-92 (1979)
- 27 Hille, H.,
Kienle, H.,
Fehling, W. Das Verhalten der Herzfrequenz beim Gehen in freiem Gelände im Vergleich zur Arbeit auf dem Ergometer. Zeitschr. f. Kreislauff. Bd.60:958-970 (1971)
- 28 Hille, H.,
Kienle, H.,
Kratochvil, F.,
Landt, R. Telemetrische Messungen über das Leistungsverhalten von Kurpatienten bei Terralkuren. Zeitschr. f. angew. Bäder- u. Klimahelk. 22:318-329 (1975)
- 29 Hille, H.,
Kienle, D.,
Kienle, H. Leistung, Puls- und Stoffwechsel von Kurpatienten beim Gehen und beim Ergometertraining
Med. Welt 47:1119-1122 (1981)

- 30 Hofmann, W.,
Leiner, G. Kardiale Rehabilitation im Terrain
Manuskript d. Abtlg.f.Biophysik d.
Inst. f. Allg. Biophysik,
Universität Salzburg, und dem Inst.
f. Rheumatol., Rehab. u. Sportmed.,
Kurzentrum Bad Hofgastein (unver-
öffentl. Manuskript)
- 31 Hollmann, W.,
Hettingher, Th. Sportmedizin - Arbeits- und Trainings-
grundlagen. Schattauer Verlag
Stuttgart New York (1976)
- 32 Hollmann, W. Sportmedizin. Springer Verlag
Berlin Heidelberg New York (1977)
- 33 Hollmann, W. Über die Beeinflussung des Herzkreis-
laufsystems durch sportliche Betätigung
Therapiewoche 29:5171 (1979)
- 34 Hollmann, W. Sportphysiologische Grundlagen und
Grundfragen zum Thema:
"Sport als Therapie?"
Therapiewoche 30:5201 (1980)
- 35 Hollmann, W.,
Rost, R.,
Liesen, H.,
Heck, H., Körperliches Training in Prävention und
Rehabilitation degenerativer Herzkreis-
lauferkrankungen
Diagnostik 13:93 (1950)
- 36 Hollmann, W.,
Rost, R.,
Dufaux, B.,
Liesen, H. Prävention und Rehabilitation von Herz-
kreislaufkrankheiten durch körperliches
Training
Hippokrates Verlag Stuttgart (1983)
- 37 Hopf, R.,
Kaltenbach, M.,
Petersen, P. (Hrsg.) Bewegungstherapie für Koronarkranke
Urban & Schwarzenberg
München-Wien-Baltimore (1977)
- 38 Horstman, D.,
Morgan, W.,
Cymerman, A.,
Stokes, J. Perception of effort during constant
work to self-imposed exhaustion
Perceptual and Motor Skills 48:1111
(1979)
- 39 Huber, B. Dosierbarkeit der Kreislaufbelastung
auf Kurübungswegen. Möglichkeiten und
Grenzen. Diss. med. (1984)

- 51 Lange-Andersen, K., Fundamentals of exercise testing
Sheperd, R., World Health Organization, Genf (1971)
Denolin, H.,
Varnauskas, H.,
Maseroni, R.
- 52 Lagerström, D. Sport als Therapie bei Zivilisations-
krankheiten.
Ther. d. Gegen. 18:2 (1979)
- 53 Lagerström, D., Vergleichbare Untersuchungen über Train-
ingseffekte bei Kurpatienten
Böcklin, R.,
Liesen, H., Deutsche Zeitschr. f. Sportmedizin
Michel, D., (1979)
Diem, C.,
Halhuber, M.-J.,
Hollmann, W.
- 54 Lühr, K. Kurortbehandlung der Herz-Kreislauf-
Krankheiten. Urban & Schwarzenberg,
München-Wien-Baltimore (1977)
- 55 deMarees, H. Medizin von heute - Sportphysiologie
Troponwerke (1976)
- 56 Matsui, H., Oxygen uptake and blood flow of the
Kitamura, K., lower limb in maximal treadmill and
Miyamura, M. bicycle exercise
Eur.J.Appl.Physiol. 40:57-62 (1978)
- 57 Matthys, H. Pneumologie. Springer Verlag,
Berlin Heidelberg New York (1982)
- 58 Mellerowicz, H. Ergometrie - Grundriß der medizinischen
Leistungsmessung, Urban & Schwarzenberg
München-Wien-Baltimore (1975)
- 59 Morris, S., Incidence and significance of decrease
Phillips, J., in systolic blood pressure during
Jordan, J., graded treadmill exercise testing.
McHenry, P. Am. J. Cardiol. 41:221 (1978)
- 60 Oertel, M. Therapie der Kreislaufstörungen
In: Ziemssen, Handbuch der Allgemeinen
Therapie - Vogel, Leipzig (1884)

- 61 Pessenhofer, H.,
Schwabberger, G. Untersuchungen zur Aussagefähigkeit
des Leistungspulsindex nach E.A. Müller
Eur. J. Appl. Physiol. 40:255 (1979)
- 62 Petrovicova, J.,
Bulas, J. High altitude physical training of
patients with hypertension
Internationaler Kongreß f. Human Bio-
meterologie, Vortrag Zwettl (1984)
- 63 Robinson, S. Experimental studies of physical fit-
ness in relation to age
Arbeitsphysiologie 10:251 (1938/39)
- 64 Roman, O.,
Camuzzi, A.,
Villalon, E.,
Klenner, C. Physical training program in arterial
hypertension - a long-term prospective
follow-up
Cardiol. 67:230 (1981)
- 65 Roskamm, H. Hämodynamik und Kontraktilität des ge-
sunden und kranken Herzens bei kör-
perlicher Belastung. Verh. dtsh. Ges.
Kreislauff. 37:42 (1971)
- 66 Rost, R.,
Liesen, S.,
Mader, M.,
Reck, H.,
Philippi H.,
Schürch, P.,
Hollmann, W. Die Fahrradergometrie in der Praxis
Bayer, Leverkusen (1976)
- 67 Rost, R. Training und Sport beim Herzpatienten
Therapiewoche 28:3945 (1978)
- 68 Rost, R. Kreislaufreaktion und -adaption unter
körperlicher Belastung
Osang, Bonn (1979)
- 69 Rost, R.,
Hollmann, W. Elektrokardiographie in der Sportmedizin
Thieme, Stuttgart (1980)
- 70 Rost, R.,
Hollmann, W. Belastungsuntersuchungen in der Praxis
Thieme Verlag (1982)

- 71 Scherer, D.,
Kaltenbach, M., Häufigkeit lebensbedrohlicher Komplikationen bei ergometrischen Belastungsuntersuchungen
Dtsch. med. Wschr. 104:1161 (1979)
- 72 Schmidt, F. Ergometrie bei Herzkranken
Karger, Basel (1977)
- 73 Schmidt, F.,
Thews, G. Physiologie des Menschen
Springer Verlag, Berlin Heidelberg
New York (1980)
- 74 Schmidt, M.,
Wrenn, J. Selected physical and cardiorespiratory parameters of active males, aged 40-59
J. Sports Med. 18:183-188 (1978)
- 75 Schnlizer, W.,
Kleinschmidt, J., Zum Bewegungstraining im Kurort
Heilbad u. Kurort 320:106 (1976)
Drexel, H.
- 76 Schnlizer, W. Bewegungstherapie - Terrainkur
Heilbad u. Kurort 38:348 (1984)
- 77 Schuh, A. Menschliche Wärmebilanz und
-empfinden von Patienten auf Kurübungs-
wegen im Gebirge. Diplomarbeit in
Meteorol., München (1982)
- 78 Schuh, A. Klimatische Einflüsse auf die Be-
wegungstherapie.
Diss. Humanbiol. (1983)
- 79 Spitzer, H.
Heltinger, Th., Tafeln für den Energlenumsatz bei kör-
perlicher Arbeit.
Kaminsky, G. Beutz Verlag GmbH, Berlin (1982)
- 80 Stegemann, J.,
Kenner, Th. A theory on heart rate by muscular
metabolic receptors
Arch. Kreislauff. 64:185 (1971)
- 81 Stegemann, J. Physiologische Grundlagen der Arbeit
und des Sports. Thieme Verlag,
Stuttgart New York (1984)

- 82 Tibes, U. Kreislauf und Atmung bei Arbeit und Sport. Schriften d. Dtsch. Sporthochschule Köln, 6 (1981)
- 83 Valentin, H.,
Holzhauer, K. Funktionsprüfungen von Herz und Kreislauf. Fach-Taschenbuch 17
Deutscher Ärzte-Verlag Köln
- 84 Wahlund, H. Determination of the pyhsical working capacity
Acta med.scand.132, Suppl.215:1 (1948)
- 85 Wefelscheid, H. Dosierbare Terrainkur als Langzeitprogramm. Zeitschr. f. Bäder u. Heilk. 27:70 (1980)
- 86 Wilson, N.,
Meyer, B. Early prediction of hypertension using exercise blood pressures
Med. Sci. Sports 11:10 (1979)
- 87 Wiswell, R.,
de Vries, H. Time course of O₂-pulse during various tests of aerobic power.
Eur.J.Appl.Physiol. 41:221-232 (1979)
- 88 Wollenweber, J.,
Christ, H.,
Hausen, W. Das Belastungs-Elektrokardiogramm bei Screening-Untersuchungen zur Früherkennung der koronaren Herzkrankheit
Dtsch. med. Wschr. 103:688 (1978)

DANKSAGUNG

Bei Herrn Prof. Dr. med. Drexel bedanke ich mich sehr für die Überlassung des Themas dieser Dissertationsarbeit. Mein besonderer Dank gilt Herrn Dipl.-Phys. K. Dirnagl, der mir bei der Durchführung dieser Arbeit jederzeit mit Rat und Tat hilfreich zur Seite stand.

Herrn Prof.Dr.med.Schnizer und Herrn Prof.Dr.med.Maywald danke ich für die Unterstützung der Ausarbeitung des Themas "Gehtechnik im Gebirge".

Schließlich bedanke ich mich bei den vielen Probanden, die bereitwillig an den Übungsprogrammen teilnahmen, bei der ärztlichen Leiterin der Kurklinik Dr. Beger, Frau Dr. Vogel, für die ärztliche Beratung, bei Familie Klotz für die freundliche Aufnahme in der Klinik sowie bei Herrn Kurdirektor K. Schuster für die organisatorische Unterstützung.

An dieser Stelle danke ich auch den vielen ungenannten Helfern, die zum Gelingen dieser Arbeit beitrugen und nicht namentlich genannt sind.

Lebenslauf

1. 8. 1959 Ursula Dempf, geboren in München
- Eltern: Franz Xaver Dempf, geb. 17.9.33 in München
 Beamter,
 Martha Dempf, geb. Mair, geb. 11.8.32
 in München
- Bruder: Hubert Dempf, geb. 21.3.61 in München
- Sept. 1965-1966 Volksschule München-Freimann
- Sept. 1966-1969 Volksschule an der Senftenauerstraße
 München
- Sept. 1969-1978 Bertold-Brecht-Gymnasium, München-Pasing,
 Sozialwissenschaftliches Gymnasium
- 21.6.-15.7.1976 Ausbildung zur Schwesternhelferin im
 Klinikum Großhadern, München
- 29.7.1978 Allgemeine Hochschulreife
 (Bertold-Brecht-Gymnasium)
- 15.8.78-31.3.79 Tätigkeit als Pflegehelferin, Medizinische
 Klinik III, Klinikum Großhadern
- 1.5.1979 Zulassung zum Studium der Humanmedizin
 an der Julius-Maximilians-Universität
 Würzburg
- 1.10.1984 Wechsel des Studienortes - Praktisches Jahr
 in München
- 21.11.1985 Approbation
- seit Juli 1986 Hospitantin bei Prof. Riecker, Med.
 Klinik I der Universität München,
 Klinikum Großhadern

